



**RECHERCHES ET ETUDES PHYTOSANITAIRES
CONDUITES AU MALI**

RAPPORT DE LA CAMPAGNE 2009

RENOU Alain (CIRAD)

**Partenaires : TOGOLA Mamoutou (IER)
TERETA Idrissa (IER)
BAGAYOKO Boubou (IER)**

SOMMAIRE

INTEGRATION DE METHODES DE LUTTE CONTRE LES RAVAGEURS DU COTONNIER	5
1 Justification	5
2 Objectifs	5
3 Matériels et méthodes.....	5
3.1 modalités étudiées et dispositif statistique.....	5
3.2 conditions de culture.....	6
3.3 observations	6
4 Résultats	7
5 Discussions et conclusion	14
INFLUENCE DE LA DATE DE SEMIS SUR LES PERFORMANCES DE PROGRAMMES D'INTERVENTIONS SUR SEUIL.....	16
1 Justification	16
2 Objectifs	16
3 Matériels et méthodes.....	16
3.1 modalités étudiées et dispositif statistique.....	16
3.2 conditions de culture.....	17
3.3 observations	17
4 Résultats	18
5 Discussions et conclusion	27
INTERET DES INTERVENTIONS SUR SEUIL CONTRE LES CHENILLES DE LA CAPSULE BASEES SUR LA COMPOSITION EN ESPECES DES INFESTATIONS	28
1 Justification	28
2 Objectifs	28
3 Matériels et méthodes.....	28
3.1 modalités étudiées, dispositif statistique, parcelle élémentaire.....	28
3.2 conditions de culture.....	29
3.3 observations	29
4 Résultats	30
5 Discussions et conclusion	36
INTERET DES INTERVENTIONS SUR SEUIL CONTRE LES CHENILLES DE LA CAPSULE BASEES SUR LA STRUCTURE EN AGES DES INFESTATIONS.....	38
1 Justification	38
2 Objectifs	38
3 Matériels et méthodes.....	38
3.1 modalités étudiées, dispositif statistique, parcelle élémentaire.....	38
3.2 conditions de culture.....	39
3.3 observations	39
4 Résultats	40
5 Discussions et conclusion	46
INTERET DE L'ECIMAGE RAISONNE DES COTONNIERS AVEC DES INTERVENTIONS SUR SEUIL	48
1 Justification	48
2 Objectifs	48
3 Matériels et méthodes.....	48
3.1 modalités étudiées, dispositif statistique, parcelle élémentaire.....	48
3.2 conditions de culture.....	49

3.3 observations	49
4 Résultats	50
5 Discussions et conclusion	62
INTERET DES INTERVENTIONS SUR SEUIL CONTRE LES CHENILLES DE LA CAPSULE BASEES SUR L'OBSERVATION DES PONTES DE CES RAVAGEURS	63
1 Justification	63
2 Objectifs	63
3 Matériels et méthodes.....	63
3.1 modalités étudiées, dispositif statistique, parcelle élémentaire.....	63
3.2 conditions de culture.....	64
3.3 observations	64
4 Résultats	65
5 Discussions et conclusion	72
CONFIRMATION DE L'INTERET D'UNE NOUVELLE REGLE POUR LES INTERVENTIONS SUR SEUIL CONTRE LES CHENILLES DE LA CAPSULE	73
1 Justification	73
2 Objectifs	73
3 Matériels et méthodes.....	73
3.1 modalités étudiées, dispositif statistique, parcelle élémentaire.....	73
3.2 conditions de culture.....	74
3.3 observations	74
4 Résultats	74
5 Discussions et conclusion	80
ANALYSE DES OBSERVATIONS PHYTOSANITAIRES DE L'ENSEMBLE DES ETUDES DE LA CAMPAGNE 2009 POUR LES PARCELLES SEMEES A LA MEME DATE ET A LA MEME DENSITE DE PLANTATION	82
1 Analyse globale des réalisations avec des programmes d'interventions sur seuil	82
2 Composition spécifique du complexe des chenilles de la capsule et dynamiques de ces ravageurs.....	83
3 Liaison entre les taux de rétention des organes fructifères et les infestations de chenilles de la capsule	85
4 Liaison entre les taux de capsules entièrement saines et les infestations de chenilles de la capsule	92
5 Conclusions	97
A PROPOS DES PHENOMENES DE COMPENSATION DES PERTES DUES AUX RAVAGEURS CHEZ LE COTONNIER	106
1 Introduction	106
2 Objectifs	106
3 Matériels et méthodes.....	106
4 Résultats	107
5 Conclusions et discussion.....	119
QUELQUES ASPECTS PHYTOSANITAIRES LIES A LA CULTURE COTONNIERE AU MALI PRINCIPAUX ACQUIS EN DEVELOPPEMENT ET EN RECHERCHE..	121
1 Introduction	121
2 Les acquis du développement	121
3 Les principaux acquis de la recherche	123
3.1 à propos des programmes d'interventions sur seuil	123
3.2 à propos de l'écimage des cotonniers	124

3.3 à propos des augmentations de densité de plantation	125
3.4 à propos des plantes pièges.....	126
4 Conclusions et discussion.....	127

INTEGRATION DE METHODES DE LUTTE CONTRE LES RAVAGEURS DU COTONNIER

1 Justification

Depuis plusieurs années deux alternatives à la lutte chimique semblent présenter un intérêt au Mali pour la protection de la culture cotonnière : la pratique de fortes densités de plantation et l'écimage des cotonniers en cours de campagne. La première en raccourcissant le cycle de la plante permet à la production d'échapper aux fortes infestations de chenilles de la capsule observées généralement en fin de campagne. La seconde détourne ces mêmes ravageurs de la culture cotonnière après sa réalisation. Il peut alors apparaître intéressant d'associer ces deux pratiques à un contrôle de ces ravageurs par des interventions sur seuil qui, déjà dans la pratique, permet déjà d'économiser des insecticides.

2 Objectifs

Le principal objectif de cette étude a été de vérifier si l'association de ces pratiques culturales au programme actuel d'interventions sur seuil présente un intérêt sur les plans biologique, productif, économique et environnemental.

3 Matériels et méthodes

3.1 modalités étudiées et dispositif statistique

Trois ensembles de pratiques décrites dans le tableau 1 ont été comparées. Ces pratiques sont relatives à la protection insecticide de la culture, à la densité de plantation et à l'écimage des cotonniers.

Tableau 1 : modalités étudiées

ensembles de pratiques	pratiques		
	programme de protection	densité de plantation	écimage
A	PV	8,3 plants/m ²	non
B	PS	8,3 plants/m ²	non
C	PS	16,7 plants/m ²	oui

Le programme de protection PV reposait sur des interventions calendaires réalisées tous les 14 jours à partir du 45^{ème} jour après la levée (JAL). Le programme de protection PS est le programme actuel d'interventions sur seuil où les applications insecticides sont réalisées si les infestations de chenilles de la capsule (les seuls ravageurs ciblés dans cette étude) atteignent 5 chenilles / 25 plants, les observations étant effectuées tous les 7 jours à partir du 30^{ème} jour après la levée.

Pour les interventions avant le 72^{ème} JAL une alternative aux pyréthrinoïdes¹ a été utilisée. Elle a été remplacée au-delà du 72^{ème} JAL par une association d'un pyréthrinoïde à une autre matière active².

La densité de plantation de 8,3 plants/m² a été obtenue avec des écartements de 0,8 mètre entre lignes, des écartements de 0,3 mètre entre poquets et un démariage à 2 plants par

¹ Avaunt® (indoxacarbe 150g/l) utilisé à 0,16 litre/ha

² CAPT 88EC® (cyperméthrine- acétaméprid 72-16) utilisée à 0,5 litre/ha

poquet. La densité de plantation de 16,7 plants/m² a été obtenue avec des écartements de 0,4 mètre entre lignes, des écartements de 0,3 mètre entre poquets et un démariage à 2 plants par poquet.

L'écimage des cotonniers pour les parcelles concernées a été pratiqué manuellement 10 jours après l'apparition de la première fleur.

Un dispositif statistique en blocs de Fisher à 8 répétitions a été adopté. La parcelle élémentaire comprenait 8 lignes de 10 mètres pour la densité de 8,3 plants/m² (seules les 6 lignes centrales étaient concernées par les applications insecticides) mais elle comprenait 16 lignes de 10 mètres pour la densité de 16,7 plants/m² (seules les 12 lignes centrales étaient concernées par les applications insecticides).

3.2 conditions de culture

L'étude a été implantée le 14 juin avec des semences de la variété STAM 59A. Au préalable le site d'implantation a reçu 5 tonnes de fumier par hectare en raison de la faible fertilité des sols de la sous station de Farako. En dehors de la protection insecticide et de la densité de plantation, toutes les recommandations de la recherche ont été appliquées : contrôle de l'enherbement par sarclages manuels (réalisés au 16^{ième} JAL, 29^{ième} JAL, 42^{ième} JAL et 55^{ième} JAL), fertilisation minérale composée de 200 kg/ha d'engrais complet apporté au 16^{ième} JAL et de 50 kg/ha d'urée épandue au 29^{ième} JAL et buttage au 56^{ième} JAL.

3.3 observations

3.3.1 chenilles de la capsule

Du 30^{ième} au 135^{ième} JAL, les chenilles de la capsule ont été dénombrées une fois par semaine sur 25 plants répartis sur les deux lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. Les enregistrements ont distingué les trois espèces principales : *Helicoverpa armigera* (Hübner), *Diparopsis watersi* (Rotschild) et *Earias* spp³.

3.3.2 date d'apparition de la première fleur

Cette observation a été effectuée sur tous les plants d'une des lignes centrales de chaque parcelle élémentaire dont les cotonniers devaient être écimés. On y a compté quotidiennement le nombre de plants ayant des fleurs épanouies (fleurs blanches) à partir du 50^{ième} JAL. Dès que ce nombre atteignait la moitié du nombre de plants d'une ligne l'observation était arrêtée sur cette ligne. La dernière date d'observation par ligne était alors considérée comme la date moyenne d'apparition de la première fleur au niveau de cette parcelle élémentaire.

3.3.3 dénombrement de capsules

Au 70^{ième}, 80^{ième}, 90^{ième}, 100^{ième}, 110^{ième}, 120^{ième} et 130^{ième} JAL, on a observé 10 plants par parcelle élémentaire. Pour chaque plant on a relevé le nombre de capsules portées ayant un diamètre supérieur à celui d'une pièce de 25 F CFA⁴. Les plants observés ne changeaient pas du début à la fin de la campagne.

³ deux espèces du genre *Earias* sont présentes au Mali : *E. biplaga* (Walker) et *E. insulana* (Boisduval)

⁴ Des études conduites en 2008 ont montré que des capsules ayant atteint ce diamètre ne sont plus sujettes à une abscission

3.3.4 examen de la production à l'échelle de plants

Par parcelle élémentaire un tronçon de 4,5 mètres a été délimité sur une des lignes centrales. Pour chaque plant présent sur chaque tronçon on n'a observé que les premières positions de branches fructifères. Pour chaque position présente on a noté si elle était occupée par une capsule entièrement saine, un autre organe fructifère (bouton, fleur, capsule partiellement saine, pourrie ou momifiée sans précision) ou si aucun organe fructifère n'était porté⁵.

3.3.5 rendement et stand

Le coton graine produit sur les 4 lignes centrales de chaque parcelle élémentaire a ensuite été récolté puis pesé. Parallèlement le nombre de plants présents sur ces lignes a été relevé.

4 Résultats

L'écimage des cotonniers des parcelles concernées par cette opération a été réalisé entre le 27 et le 30 août (soit entre le 72^{ième} et le 75^{ième} JAL)

Les chenilles d'*Earias* spp ont été les plus fréquentes sur l'ensemble de la campagne (Figure 1) et à l'exception de quelques dates presque tout au long de la campagne (Figure 2).

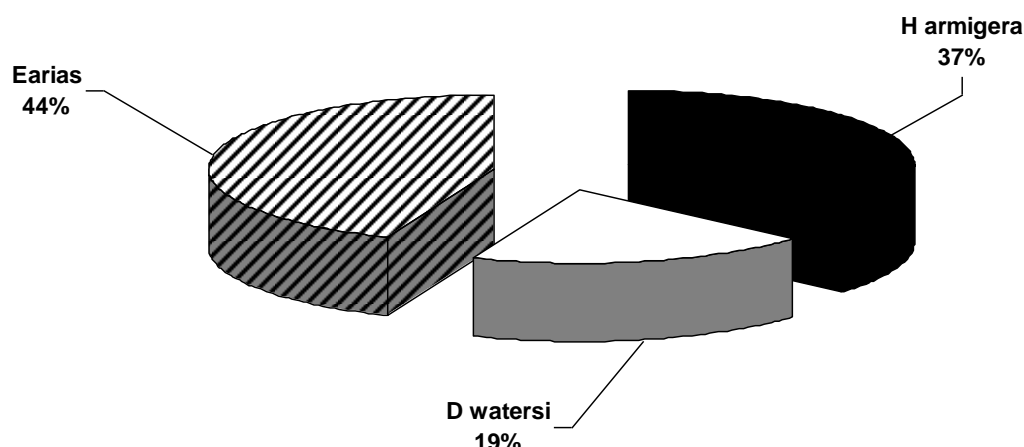


Figure 1 : importances relatives des différentes espèces de chenilles de la capsule sur l'ensemble de la campagne

⁵ Des études conduites en 2008 ont montré que cet examen simplifié de la production à l'échelle de plant rendait parfaitement compte des certaines caractéristiques de la production à l'échelle de plants entiers : taux de capsules entièrement saines, nombre de capsules entièrement saines et taux de rétention des organes fructifères.

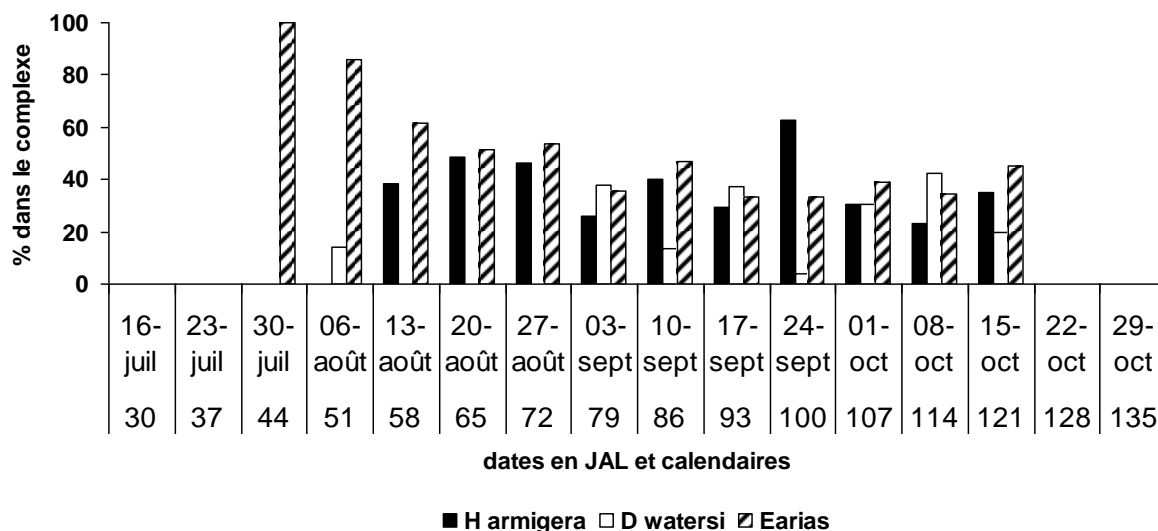


Figure 2 : évolution des importances relatives des différentes espèces de chenilles de la capsule au cours de la campagne

Les infestations moyennes de chenilles de la capsule n'ont pas été très élevées au cours de la campagne (< 9 chenilles pour 100 plants) comme le montre la figure 3. Deux pics sont observés : le premier au 3 septembre (79^{ième} JAL) et le second au 17 septembre (au 93^{ième} JAL). Malgré ces faibles infestations des interventions sur seuil ont été réalisées. Elles furent plus nombreuses, débutèrent plus tôt et s'arrêtèrent plus tard lorsque la densité de plantation était de 8,3 plants/m² et que les cotonniers n'étaient pas écimés (Figure 3).

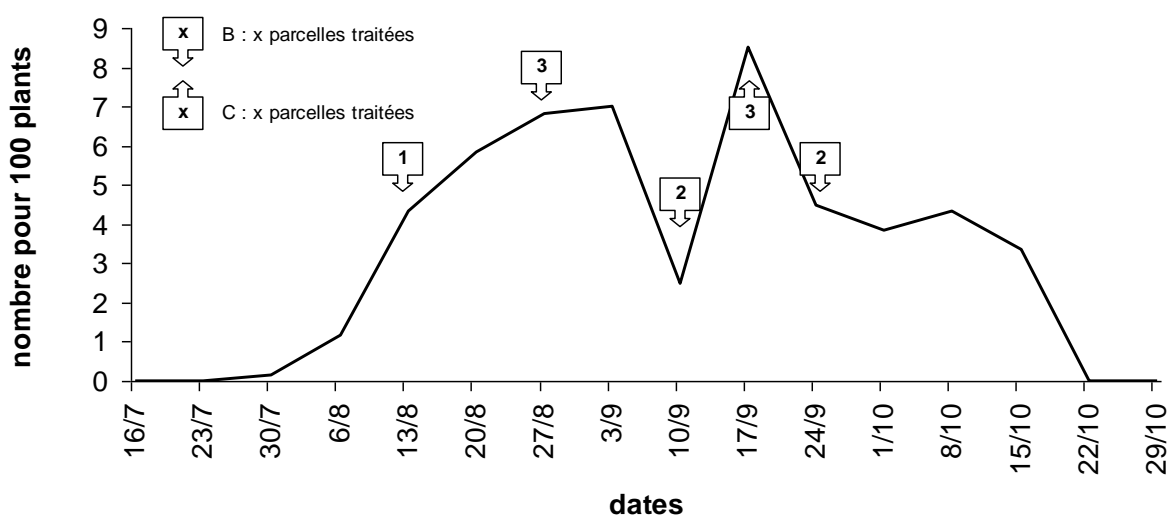


Figure 3 : dynamique moyenne des infestations de chenilles de la capsule et positionnement des interventions sur seuil

En raison de leur nombre, les interventions calendaires (ensemble de pratiques A) ont procuré le meilleur contrôle des chenilles de la capsule (Tableau 2). Toutefois il faut souligner qu'avec un nombre d'interventions insecticides sur seuil significativement le plus faible (10 % d'économies supplémentaires d'insecticide étant ainsi procurés) l'intégration de méthodes de lutte (ensemble de pratiques C) procure un contrôle des chenilles de la capsule significativement meilleur que celui de l'ensemble de pratiques B à l'exception de celles de *D. watersi* pour lesquelles il n'y a pas de différence (Tableau 2).

Tableau 2 : nombre d'interventions insecticides par hectare et infestations de chenilles de la capsule en fonction des ensembles de pratiques de protection

	nombre de traitements	nombre de chenilles pour 100 plants par observation			
		H. armigera	D. watersi	Earias	cumul
A	6,0 c	0,00 a	0,00 a	0,03 a	0,03 a
B	1,0 b	2,34 c	1,09 b	2,76 c	6,21 c
C	0,4 a	1,20 b	0,81 b	1,44 b	3,47 b
F méthodes de lutte	412,10	183,00	33,19	162,47	577,05
signification en %	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
CV en %	17,5	19,26	43,88	19,58	10,24
transformation		ln (x+1)		ln (x+1)	ln (x+1)

Lorsque l'on examine les évolutions moyennes des infestations de chenilles de la capsule pour les deux ensembles de pratiques de protection B et C, on note que si la diminution des infestations avec l'ensemble des pratiques de protection C se manifeste avant l'écimage (Figure 4) elle n'est pas significative (Tableau 3) alors qu'après l'écimage elle est hautement significative (Tableau 4).

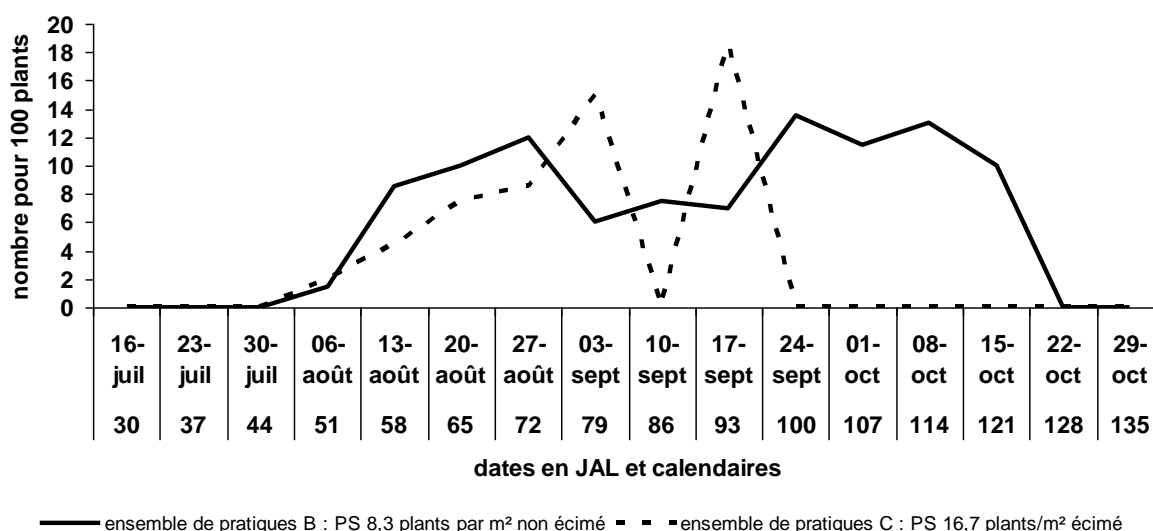


Figure 4 : dynamique moyenne des infestations de chenilles de la capsule selon les ensembles de pratiques B et C

Tableau 3 : infestations de chenilles de la capsule avant l'écimage des cotonniers en fonction des ensembles de pratiques de protection

	nombre de chenilles pour 100 plants par observation			
	H. armigera	D. watersi	Earias	cumul
A	0,00 a	0,00	0,07 a	0,06 a
B	1,93 b	0,07	2,57 b	4,22 b
C	1,36 b	0,00	1,86 b	3,03 b
F méthodes de lutte	16,90	NA	10,26	45,98
signification en %	0,02		0,19	0,00
CV en %	62,23		75,80	34,55
transformation				ln (x+1)

Tableau 4 : infestations de chenilles de la capsule après l'écimage des cotonniers en fonction des ensembles de pratiques de protection

	nombre de chenilles pour 100 plants par observation			
	H. armigera	D. watersi	Earias	cumul
A	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
B	2,69 c	1,89 b	2,82 c	7,61 c
C	1,10 b	1,44 b	1,12 b	3,72 b
F méthodes de lutte	74,55	33,85	52,49	56,74
signification en %	0,00	0,00	0,00	0,00
CV en %	10,36	43,21	37,6	37,83
transformation	$\sqrt{x+1}$		$\ln(x+1)$	

Dans les dénombrements de capsule³ des différences significatives inversées sont observées selon qu'on les exprime pour 10 cotonniers (Tableau 5) ou par m² (Tableau 6). Mais les différences apparaissent plus tôt lorsque les dénombrements sont exprimés par m². Exprimés pour 10 cotonniers les deux premiers ensembles de pratiques de protection (A et B) présentent les meilleurs résultats (Tableau 5) mais exprimés par m² le dernier ensemble de pratiques de protection (C) offre très nettement les meilleurs résultats (Tableau 6).

Tableau 5 : évolution de la charge en capsule de 10 cotonniers en fonction des ensembles de pratiques de protection

en JAL	nombre de capsules pour 10 cotonniers à différentes dates						
	70	80	90	100	110	120	130
calendaire	25-août	04-sept	14-sept	24-sept	04-oct	14-oct	24-oct
A	3,4	6,9	14,8	21,0 a	28,3 a	34,5 a	40,4 a
B	3,5	6,5	13,9	22,1 a	28,9 a	33,1 a	39,5 a
C	2,6	5,8	12,0	18,1 b	25,0 b	29,8 b	36,8 b
F méthodes de lutte	0,56	0,74	1,77	8,73	8,75	8,46	4,62
signification en %	59,0	49,7	20,6	0,4	0,4	0,4	2,8
CV en %	56,7	29,5	22,1	9,7	7,3	7,3	6,4

Tableau 6 : évolution de la production de capsules par m² en fonction des ensembles de pratiques de protection

en JAL	nombre de capsules par m ² à différentes dates						
	70	80	90	100	110	120	130
calendaire	25-août	04-sept	14-sept	24-sept	04-oct	14-oct	24-oct
A	2,8	5,7 b	12,3 b	17,5 b	23,5 b	28,8 b	33,6 b
B	2,9	5,4 b	11,6 b	18,4 b	24,1 b	27,6 b	32,9 b
C	4,4	9,6 a	20,0 a	30,2 a	41,7 a	49,6 a	61,3 a
F méthodes de lutte	1,911	13,04	18,71	146,85	175,03	211,75	309,56
signification en %	18,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CV en %	53,1	26,3	20,9	7,5	7,4	6,8	6,1

En moyenne le nombre de branches fructifères apparues par plant a été significativement influencé par les trois ensembles de pratiques de protection (Tableau 7). L'influence négative de l'ensemble de pratiques C sur cette caractéristique résulte probablement de l'écimage mais aussi de la plus forte densité de plantation mise en œuvre qui est d'ailleurs constatée à la récolte (Tableau 7). Par contre la différence significative entre l'ensemble des pratiques B et l'ensemble de pratiques A est peu compréhensible puisque ces deux ensembles de pratiques n'ont différé que par les modalités d'interventions insecticides, leurs densités de

plantation n'étant d'ailleurs pas significativement différentes à la récolte (Tableau 7). Toutefois on peut penser que cette différence puisse résulter d'une compensation des cotonniers protégés par des interventions sur seuil avec la densité de plantation recommandée. Enfin, il faut aussi noter que les densités de plantation à la récolte sont loin des objectifs fixés (43 % à 72 % des objectifs suivant l'observation et les ensembles de pratiques de protection).

Tableau 7 : influence des ensembles de pratiques de protection sur le nombre de branches fructifères par plant et sur les densités de plantation à la récolte

	nombre de branches fructifères par plant	densité de plantation (en plants/m ²)	
		tronçon de ligne de 4,5 m	4 lignes centrales
A	11,3 b	6,0 b	3,6 b
B	13,4 a	5,5 b	3,9 b
C	9,1 c	10,8 a	8,1 a
F pratiques	9,70	29,61	138,68
Signification en %	0,2	0,0	0,0
CV en %	17,2	20,6	11,6

L'examen détaillé de la production à l'échelle des plants ne montre pas des taux moyens de rétention des organes fructifères très élevés (< 70 %) sur les premières positions de branches fructifères (Figure 5 et Tableau 8). Habituellement ces taux chutent régulièrement à partir d'une certaine date mais cette année en raison de pluies tardives on note des valeurs qui remontent pour les 7^{ième} et 8^{ième} semaines de production d'organes fructifères (Figure 5). Pour cette caractéristique aucune différence significative n'apparaît entre les ensembles de pratiques comparées sauf pour les positions fructifères apparues au cours des troisième et quatrième semaines⁶ qui ont suivi la première semaine de production de boutons floraux (square). Au cours de ces deux semaines les meilleurs résultats obtenus avec l'ensemble de pratiques C (Tableau 8) pourraient être attribués à l'écimage des cotonniers car en général l'augmentation de la densité de plantation influence négativement cette performance. La différence significative entre les deux autres ensembles de pratiques de protection au cours de la troisième semaine qui a suivi la première semaine de production de boutons floraux (Tableau 8) pourrait être attribuée au nombre d'applications insecticide calendaires plus élevé avec l'ensemble des pratiques A : 1,00 application insecticide pour l'ensemble de pratiques A contre aucune pour l'ensemble de pratiques B au cours de cette seule troisième semaine et 4,00 contre 0,75 applications insecticides pendant la période de sensibilité à l'abscission de organes fructifères produits pendant cette troisième semaine de production d'organes fructifères.

⁶ Au-delà de la 4^{ième} semaine de production d'organes fructifères les analyses statistiques ne pouvaient plus être entreprises en raison du nombre de données parcellaires incalculables (absence de production de site fructifère)

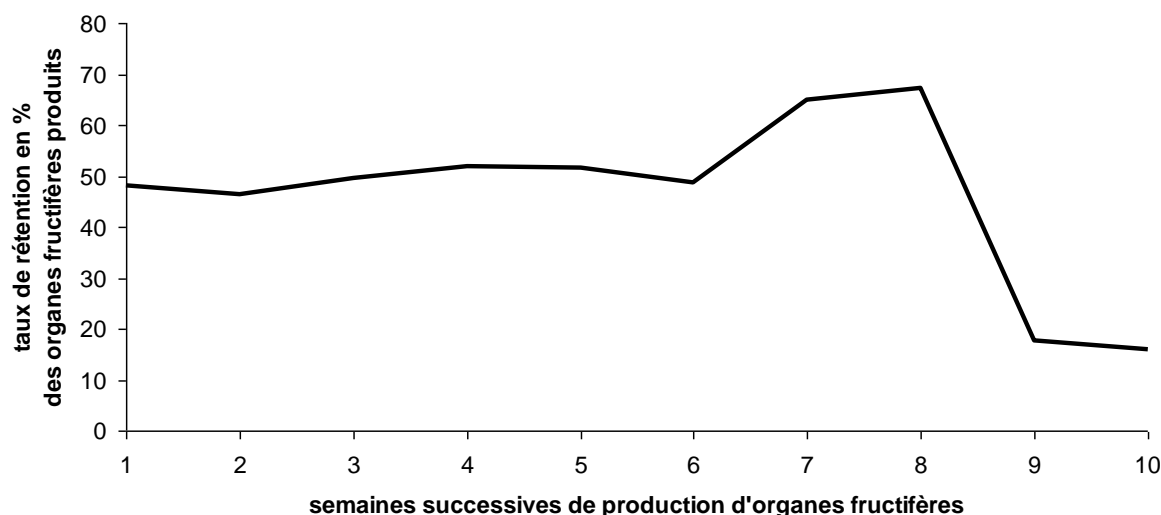


Figure 5 : taux moyen de rétention des organes fructifères produits en première position de branche fructifère par semaine successive de production d'organes fructifères

Tableau 8 : taux de rétention des organes fructifères produits en première position de branche fructifère sur l'ensemble de la campagne et par semaine de production d'organes fructifères en fonction des ensembles de pratiques de protection

	taux de rétention en % des organes fructifères produits au cours de				
	l'ensemble de la campagne	la première semaine	la deuxième semaine	la troisième semaine	la quatrième semaine
A	43,3	49,5	46,8	49,0 b	41,5 b
B	36,5	47,6	42,0	36,7 c	29,6 b
C	43,6	47,2	50,1	63,3 a	89,1 a
F pratiques	2,15	0,17	2,18	11,92	14,66
signification en %	15,2	84,4	14,8	0,1	0,0
CV en %	11,3	10,9	10,5	14,1	30,9
transformation	Arcsin \sqrt{p}	Arcsin \sqrt{p}	Arcsin \sqrt{p}	Arcsin \sqrt{p}	Arcsin \sqrt{p}

En moyenne 72,9 % des premières positions de branches fructifères occupées par un organe fructifère à la récolte le sont par des capsules entièrement saines. Les taux moyens de capsules entièrement saines sont relativement élevés pour les organes fructifères apparus au cours des quatre premières semaines de production d'organes fructifères puis ils chutent régulièrement par la suite (Figure 6). Ainsi les meilleures rétentions d'organes fructifères observés pour les 7^{ième} et 8^{ième} semaines n'ont pas conduit à des productions importantes de capsules entièrement saines. Aucune différence significative n'est apparue entre les ensembles de pratiques de protection pour cette caractéristique de la production que l'on considère les organes fructifères des premières positions de branches fructifères retenus sur de l'ensemble de la campagne ou les organes fructifères des premières positions de branches fructifères retenus pour les quatre premières semaines⁷ de production d'organes fructifères (Tableau 9).

⁷ les seules semaines pour lesquelles des analyses statistiques étaient possibles

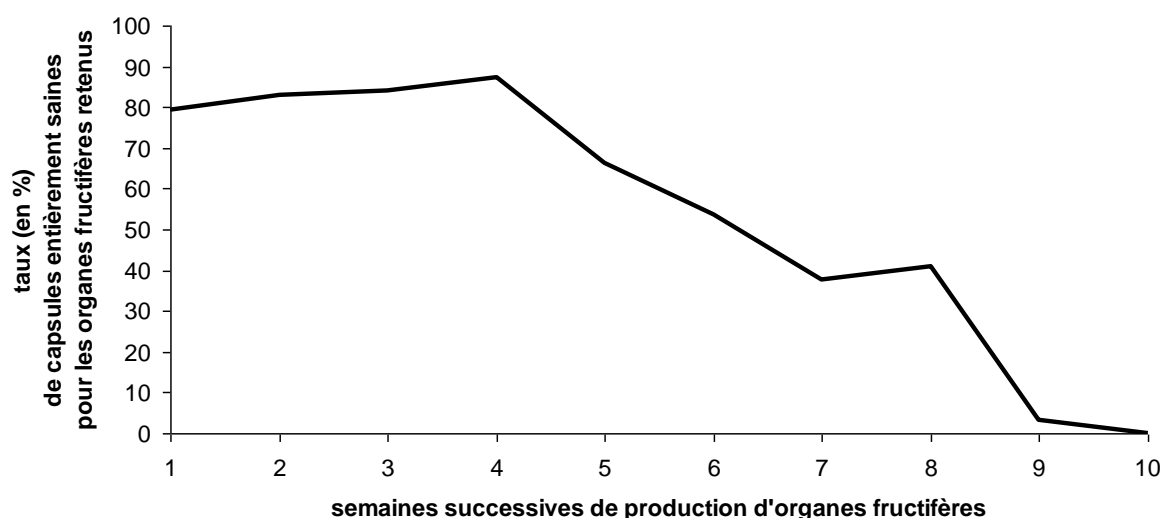


Figure 6 : taux moyen de capsules entièrement saines des organes fructifères retenus par semaine successive de production d'organes fructifères

Tableau 9 : taux de capsules entièrement saines pour les organes fructifères en première position de branche fructifère retenus sur l'ensemble de la campagne et par semaine de production d'organes fructifères en fonction des ensembles de pratiques de protection

	taux de capsules entièrement saines en % des organes fructifères en première position de branche fructifère retenus et produits au cours de				
	l'ensemble de la campagne	la première semaine	la deuxième semaine	la troisième semaine	la quatrième semaine
A	76,1	85,6	84,9	89,8	93,4
B	71,8	79,9	86,9	82,0	85,7
C	71,8	77,4	84,1	89,6	99,0
F pratiques	0,85	0,80	0,08	0,67	1,72
signification en %	45,2	47,4	92,4	53,2	21,4
CV en %	8,5	15,5	17,7	18,6	23,7
transformation	Arcsin \sqrt{p}	Arcsin \sqrt{p}	Arcsin \sqrt{p}	Arcsin \sqrt{p}	Arcsin \sqrt{p}

En terme de précocité de production mesurée par la date d'apparition la plus tardive des organes fructifères contribuant déjà à 50 %, 70 % et 90 % de la production totale de capsules entièrement saines en première position de branche fructifère aucune différence significative n'apparaît entre les ensembles de pratiques de protection même si l'ensemble de pratiques C offrent une plus grande précocité (Tableau 10).

En termes de production de coton graine par hectare, l'ensemble de pratiques C présente de manière significative les meilleurs résultats (Tableau 11) et, sur la base d'un prix d'achat du coton graine de 170 F CFA/kg et d'un coût moyen d'une intervention insecticide de 8 107 F CFA/ha⁸, les produits diminués des coûts de protection les plus élevées sont obtenus de manière significative avec ce même ensemble de pratiques de protection (Tableau 11). Les deux autres ensembles de pratiques de protection ne diffèrent pas significativement pour ces

⁸ pour l'année 2008, le coût de 8 107 F CFA/ha pour une intervention insecticide était décomposé en 4 507 F CFA d'achat d'un litre d'insecticide, 900 F CFA le coût des piles pour une application, 150 F CFA le coût de la main d'œuvre pour la réalisation d'une application et 2 550 F CFA le coût de l'amortissement et de l'entretien de l'appareil de traitement par application

deux critères (production de coton graine/ha et produit diminué des coûts de protection par hectare).

Tableau 10 : date d'apparition (en JAL) la plus tardive des organes fructifères contribuant à 50 %, 70 % et 90 % de la production totale de capsules entièrement saines en première position de branche fructifère en fonction des ensembles de pratiques de protection

	date d'apparition (en JAL) la plus tardive des organes fructifères contribuant déjà à x % de la production totale de capsules entièrement saines des premières positions de branches fructifères		
	50 %	70 %	90 %
A	43,4	50,7	59,0
B	40,9	47,8	57,2
C	41,0	47,2	54,6
F pratiques	0,52	1,25	1,00
signification en %	60,9	31,8	39,5
CV en %	46,5	25,7	23,7

Tableau 11 : rendement en coton graine et produit diminué des coûts de protection en fonction des ensembles de pratiques de protection

	rendement en kg de coton graine par hectare	produit diminué des coûts de protection en F CFA par hectare
A	1668 b	234913 b
B	1490 b	245233 b
C	3195 a	540163 a
F pratiques	111,06	131,96
signification en %	0,0	0,0
CV en %	11,9	12,5

5 Discussions et conclusion

Cette étude a permis de confirmer une fois de plus l'intérêt de l'écimage pour diminuer les infestations de chenilles de la capsule. Les résultats de cette étude laissent aussi supposer que de fortes densités de plantation peuvent diminuer les infestations de ces mêmes ravageurs avant l'écimage. Cela constituerait un atout supplémentaire de cette pratique qui a été mise en œuvre surtout pour améliorer la précocité d'élaboration de la production permettant à celle-ci d'échapper aux fortes infestations de chenilles de la capsule souvent observées en fin de campagne. Enfin il convient de souligner l'effet positif de l'écimage sur les taux de rétention des organes fructifères même s'il ne se manifeste pas sur tous les sites de production.

En conclusion, les objectifs de cette étude ont donc été atteints car l'association de l'écimage et d'une forte densité de plantation à des interventions sur seuil contre les chenilles de la capsule procure un meilleur contrôle de ces ravageurs que les seules interventions sur seuil (objectif biologique), diminue le nombre d'interventions sur seuil (objectif environnemental), procure les meilleurs rendements (objectif de production) et les meilleurs produits diminués des coûts de protection (objectif économique).

Grâce à l'association de l'écimage et d'une forte densité de plantation, les deux seules faiblesses (pertes de production et moindre efficacité par rapport aux interventions calendaires), notées, en développement comme en recherche, à propos du programme

actuel d'interventions sur seuil, sont maintenant surmontées en totalité (cas des pertes de production) et partiellement (cas de l'efficacité par rapport aux interventions calendaires).

L'amélioration de cette dernière faiblesse nécessitera la mise en œuvre d'autres technologies : push-pull (push à travers des applications d'extraits de neem sur cotonniers et pull en entourant les parcelles de cotonniers d'une plante piège comme le gombo ou le pois d'angôle) et renforcement du rôle des auxiliaires (probablement par des technologies SCV à travers des plantes de couverture).

INFLUENCE DE LA DATE DE SEMIS SUR LES PERFORMANCES DE PROGRAMMES D'INTERVENTIONS SUR SEUIL

1 Justification

En regard de la baisse des potentialités d'une culture cotonnière avec un retard au semis, le programme actuel d'intervention sur seuil devrait mieux convenir techniquement et surtout économiquement aux semis tardifs qu'aux semis précoces. Toutefois cela mérite d'être vérifié car les phases critiques du cycle productif des semis tardifs coïncideront avec les périodes de fortes infestations de chenilles de la capsule. La modulation en cours de campagne du seuil d'intervention contre ces ravageurs pourrait alors mieux convenir aux semis tardifs.

2 Objectifs

Le premier objectif de cette étude a été de vérifier l'adaptation technique et économique du programme actuel d'interventions sur seuil à deux dates de semis. Le deuxième objectif fut d'évaluer l'intérêt de la modulation du seuil d'intervention contre les chenilles de la capsule pour ces différentes conditions de semis.

3 Matériels et méthodes

3.1 modalités étudiées et dispositif statistique

Dans un dispositif factoriel à 6 répétitions deux facteurs ont été étudiés : la protection phytosanitaire de la culture cotonnière qui comprenait trois niveaux (Tableau 1) et la date de semis de la culture avec deux niveaux (Tableau 2).

Tableau 1 : modalités de protection phytosanitaire

		seuil en nombre de chenilles/25 plants par période en JAL			
		avant 45	du 45 au 65	du 65 au 85	après 85
PV	interventions tous les 14 jours à partir du 45 ^{ième} JAL ⁹	pas de seuil	pas de seuil	pas de seuil	pas de seuil
PS	interventions sur seuil à partir du 30 ^{ième} JAL	5	5	5	5
PSN1	interventions sur seuil à partir du 30 ^{ième} JAL	1	2	4	8

Tableau 2 : dates de semis étudiées

S1	semis entre le 15 et le 20 juin
S2	semis 21 jours après S1

Pour les interventions avant le 72^{ième} JAL une alternative aux pyréthrinoïdes¹⁰ a été utilisée. Elle a été remplacée au-delà du 72^{ième} JAL par une association d'un pyréthrinoïde à une autre matière active¹¹. La parcelle élémentaire était de 64 m² (8 lignes de 10 mètres) mais seules les six lignes centrales étaient concernées par les applications insecticides.

⁹ Jour Après la Levée

¹⁰ Avaunt® (indoxacarbe 150g/l) utilisé à 0,16 litre/ha

¹¹ CAPT 88EC® (cyperméthrine- acétaméprid 72-16) utilisée à 0,5 litre/ha

3.2 conditions de culture

L'étude a été implantée le 13 juin pour la première date de semis avec des semences de la variété STAM 59A. Au préalable le site d'implantation a reçu 5 tonnes de fumier par hectare en raison de la faible fertilité des sols de la sous station de Farako. En dehors de la protection insecticide, toutes les recommandations de la recherche ont été appliquées quelle que soit la date de semis : densité de plantation de 8,3 plants/m² (interligne de 0,8 mètre, inter poquet de 0,3 mètre et démariage à 2 plants/poquets), contrôle de l'enherbement par sarclages manuels (réalisés au 16^{ième} JAL, 29^{ième} JAL, 42^{ième} JAL et 55^{ième} JAL), fertilisation minérale composée de 200 kg/ha d'engrais complet apporté au 16^{ième} JAL et de 50 kg/ha d'urée épandu au 29^{ième} JAL et buttage au 56^{ième} JAL.

3.3 observations

3.3.1 date d'apparition du premier bouton floral

Cette observation a été effectuée sur tous les plants d'une des lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. On y a compté quotidiennement le nombre de plants ayant des squares (très jeunes boutons floraux) à partir du 25^{ième} JAL. Dès que ce nombre atteignait la moitié du nombre de plants d'une ligne l'observation était arrêtée sur cette ligne. La dernière date d'observation par ligne était alors considérée comme la date moyenne d'apparition du premier square au niveau de cette parcelle élémentaire.

3.3.2 chenilles de la capsule

Du 30^{ième} au 135^{ième} JAL, les chenilles de la capsule ont été dénombrées une fois par semaine sur 25 plants répartis sur les deux lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. Les enregistrements ont distingué les trois espèces principales : *H. armigera*, *D. watersi* et *Earias* spp¹².

3.3.3 dénombrement de capsules

Au 70^{ième}, 80^{ième}, 90^{ième}, 100^{ième}, 110^{ième}, 120^{ième} et 130^{ième} JAL, on a observé 10 plants par parcelle élémentaire. Pour chaque plant on a relevé le nombre de capsules portées ayant un diamètre supérieur à celui d'une pièce de 25 F CFA¹³. Les plants observés ne changeaient pas du début à la fin de la campagne

3.3.4 date de début d'ouverture des capsules

Cette observation a été réalisée sur tous les plants d'une des lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. On y a compté tous les deux jours le nombre de plants ayant des capsules ouvertes (une seule capsule ouverte par plant suffisant) sur chaque ligne à partir du 90^{ième} JAL. Dès que ce nombre atteignait la moitié du nombre de plants d'une ligne cette observation était arrêtée. La dernière date d'observation était alors considérée comme la date moyenne de début d'ouverture des capsules de la parcelle élémentaire.

3.3.5 examen de la production à l'échelle de plants

Par parcelle élémentaire un tronçon de 4,5 mètres a été délimité sur une des lignes centrales. Pour chaque plant présent sur chaque tronçon on n'a observé que les premières

¹² deux espèces du genre *Earias* sont présentes au Mali : *E. biplaga* (Walker) et *E. insulana* (Boisduval)

¹³ Des études conduites en 2008 ont montré que des capsules ayant ce diamètre ne sont plus sujettes à une abscission

positions de branches fructifères. Pour chaque position on a noté si elle était occupée par une capsule entièrement saine, un autre organe fructifère (bouton, fleur, capsule partiellement saine, pourrie ou momifiée sans précision) ou si aucun organe fructifère n'était porté¹⁴.

3.3.6 rendement et stand

Le coton graine produit sur les 4 lignes centrales de chaque parcelle élémentaire a ensuite été récolté puis pesé. Parallèlement le nombre de plants présents sur ces lignes a été relevé.

4 Résultats

Sur l'ensemble de la campagne l'espèce *H. armigera* a été dominante sur les cotonniers semés à la première date alors que ce fut *Earias* spp sur les cotonniers semés à la deuxième date (Figure 1).

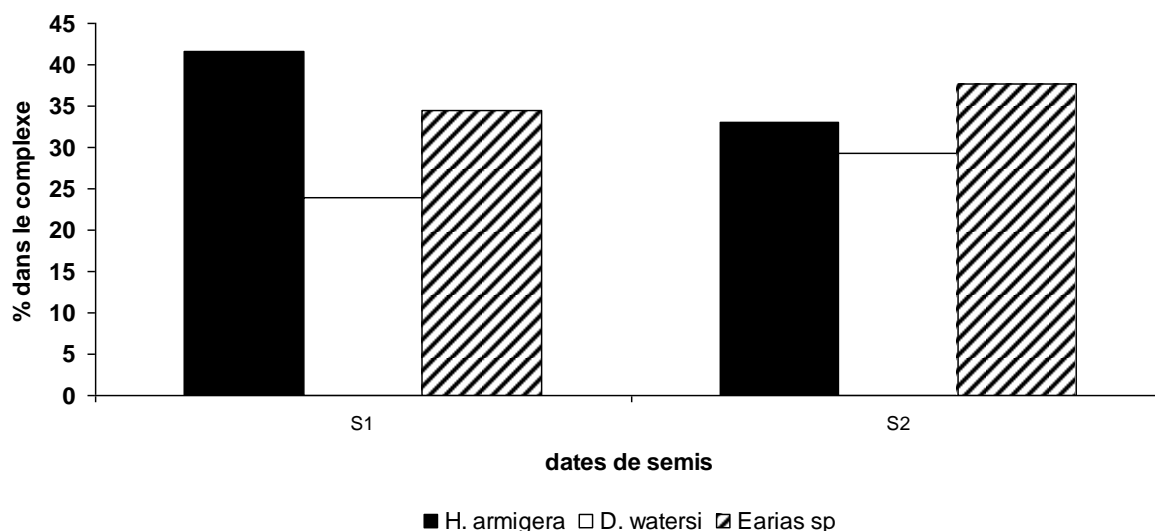


Figure 1 : Importances relatives des différentes espèces de chenilles de la capsule sur l'ensemble de la campagne en fonction de la date de semis

A l'exception de quelques dates *H. armigera* a toujours été l'espèce dominante tout au long de la campagne sur les cotonniers semés à la première date (Figure 2). Les chenilles de cette espèce ont d'ailleurs été observées aussi tôt que celles d'*Earias* spp qui souvent marque pourtant le début des infestations en chenilles de la capsule (Figure 2). Les cotonniers semés à la deuxième date ont plus souvent été infestés par des chenilles d'*Earias* spp mais entre la mi-septembre et la mi-octobre leurs infestations sont souvent comparables à celles d'*H. armigera* (Figure 3). Si on considère les périodes d'observations communes aux deux dates de semis on s'aperçoit que les chenilles d'*H. armigera* sont plus fréquentes dans le complexe sur les cotonniers semés à la première date de semis (41,6 % vs 33,6 %) et celles de *D. watersi* sur les cotonniers semés à la deuxième date de semis (24,0 % vs 32,0 %), le statut d'*Earias* sp dans le complexe ne changeant pas entre les deux dates de semis (34,4 % vs 34,4 %).

¹⁴ Des études conduites en 2008 ont montré que cet examen simplifié de la production à l'échelle de plant rendait parfaitement compte des certaines caractéristiques de la production à l'échelle de plants entiers : taux de capsules entièrement saines, nombre de capsules entièrement saines et taux de rétention des organes fructifères.

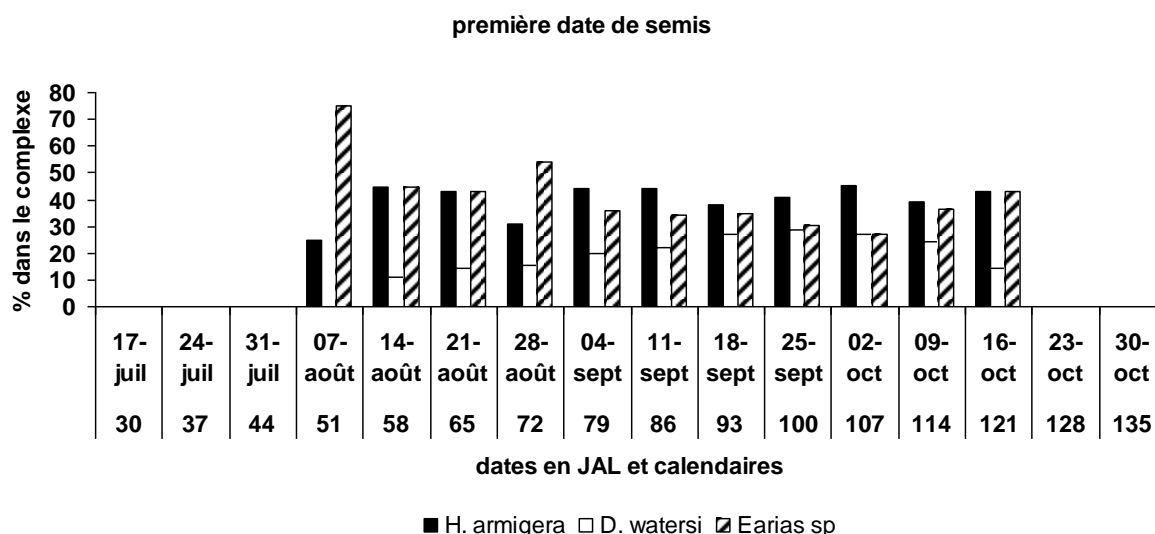


Figure 2 : évolution des importances relatives des différentes espèces de chenilles de la capsule pendant le cycle de cotonniers semés à la première date

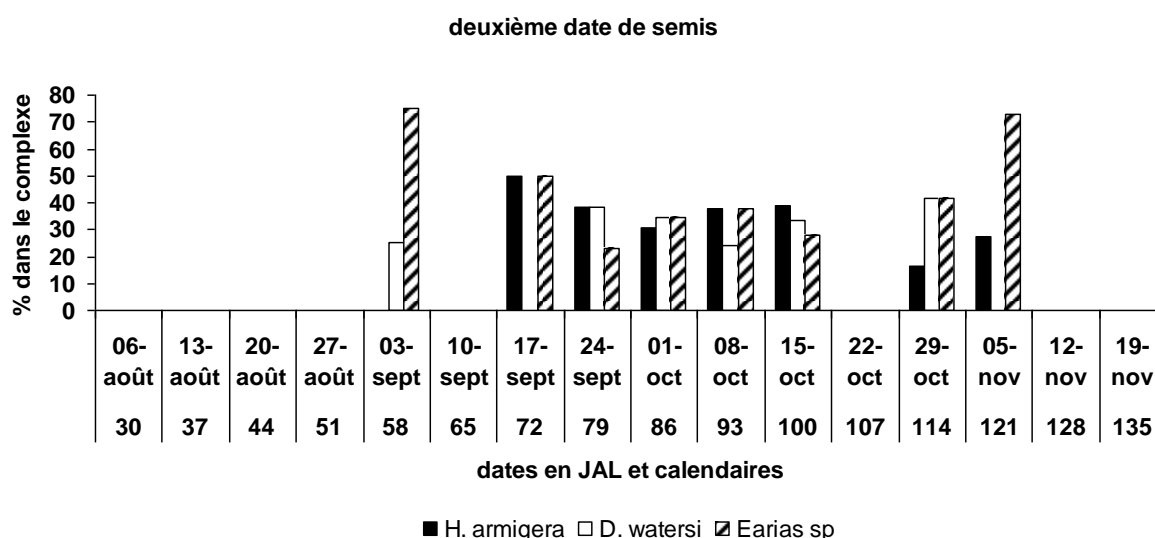


Figure 3 : évolution des importances relatives des différentes espèces de chenilles de la capsule pendant le cycle de cotonniers semés à la deuxième date

Les infestations moyennes de chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) ont été relativement importantes sur les cotonniers semés à la première date alors qu'elles furent faibles (< 8 chenilles pour 100 plants) sur les cotonniers semés à la deuxième date (Figure 4). Quelle que soit la date de semis on ne note pratiquement qu'un seul pic important d'infestations pratiquement aux mêmes dates (au 2 octobre pour la première date de semis et au 8 octobre pour la seconde date de semis) comme le montre la figure 4. Cependant par rapport au cycle du cotonnier l'inverse est observé : le pic d'infestation apparaît au 107^{ième} JAL pour la première date de semis et au 93^{ième} JAL pour la seconde date de semis (Figure 5). Conséquence de leurs plus faibles infestations les cotonniers semés à la deuxième date ont reçu beaucoup moins d'interventions sur seuil (Figure 4). Lorsque le seuil d'intervention était modulé en fonction de l'avancement de la campagne, les interventions sur seuil ont été réalisées plus précocement que celles respectant la règle de décision du programme actuel d'interventions sur seuil (Figure 4).

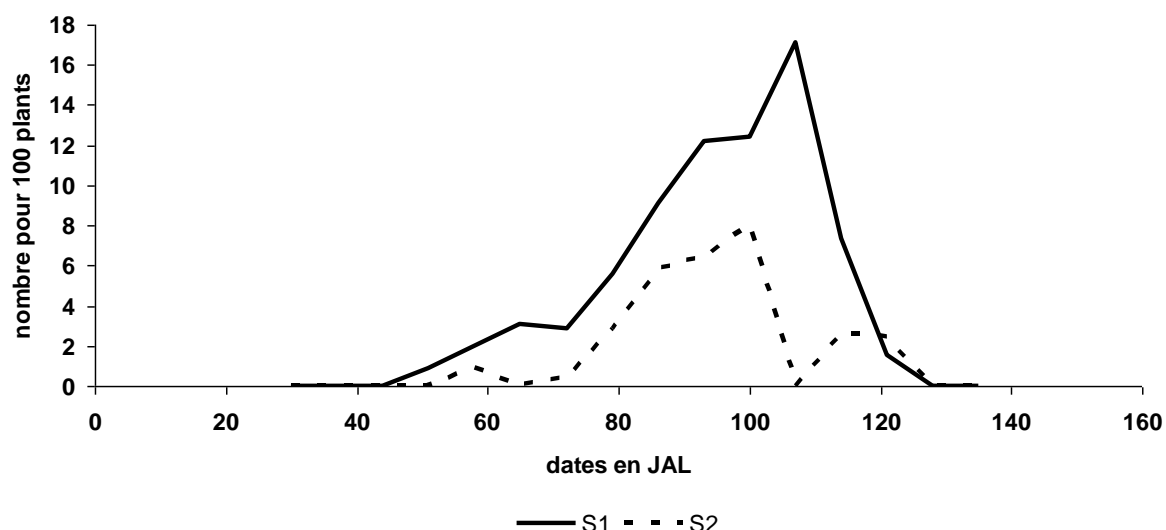
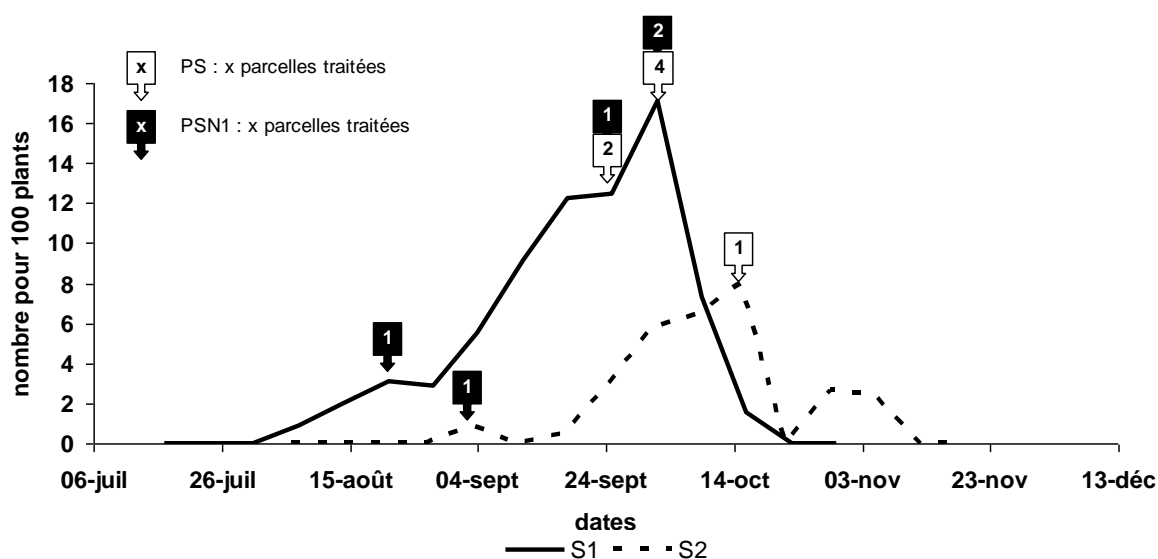


Figure 5 : comparaison des dynamiques d'infestations en chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) par rapport au cycle de développement du cotonnier pour les deux dates de semis

Indépendamment de la date de semis le nombre d'interventions sur seuil n'a pas été influencé par le type de programme suivi (PS et PSN1) qui procurent respectivement 90 et 93 % d'économie d'insecticide par rapport au programme d'interventions calendaires (PV) comme le montre le tableau 3. Le nombre moyen d'interventions insecticides a été significativement plus faible pour les cotonniers semés à la deuxième date (Tableau 3) du fait uniquement de la diminution du nombre d'interventions sur seuil (0,6 interventions pour la première date de semis contre 0,4 avec la deuxième date de semis). Quelle que soit la date de semis le meilleur contrôle des chenilles de la capsule a été obtenu avec des interventions calendaires quelle que soit l'espèce considérée et donc également pour l'ensemble des chenilles de la capsule (Tableau 3). Sauf vis-à-vis de *D. watersi* l'efficacité du programme actuel d'interventions sur seuil (PS) est apparue significativement meilleure que celle du programme modulant le seuil en cours de campagne (PSN1) pour les cotonniers semés à la

première date mais l'inverse est observé pour les cotonniers semés à la deuxième date quelle que soit l'espèce et donc pour l'ensemble des chenilles de la capsule (Tableau 3).

Tableau 3 : nombre d'interventions insecticides et infestations de chenilles de la capsule en fonction de la date de semis et des programmes de protection

	nombre de traitements	nombre de chenilles pour 100 plants par observation			
		H. armigera	D. watersi	Earias sp	cumul
PV	6,0 b	0,00 a	0,00 a	0,02 a	0,02 a
PS	0,6 a	1,90 b	1,24 b	1,55 b	4,83 b
PSN1	0,4 a	1,92 b	1,06 b	1,54 b	4,88 b
F programme	567,58	81,99	83,22	105,46	141,40
signification en %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	2,6 b	1,93 b	0,90 b	1,23 b	4,64 b
S2	2,1 a	0,61 a	0,46 a	0,58 a	1,85 a
F date de semis	8,33	88,38	22,01	34,05	106,13
signification en %	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
PV S1	6,0	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
PS S1	1,0	2,54 d	1,53 d	1,97 d	6,13 d
PSN1 S1	0,7	3,25 e	1,70 d	2,75 e	7,79 e
PV S2	6,0	0,00 a	0,00 a	0,04 a	0,04 a
PS S2	0,2	1,25 c	0,98 c	1,19 c	3,54 c
PSN1 S2	0,2	0,58 b	0,57 b	0,72 b	1,96 b
F interaction programme date de semis	2,47	30,09	7,86	15,72	39,32
signification en %	10,3	0,0	0,2	0,0	0,0
CV en %	19,8	33,1	33,0	28,4	25,1
Transformation			ln (x+1)	ln (x+1)	

Dans les dénombrements de capsules portés par les cotonniers seul un effet de la date de semis est apparu significatif : les charges en capsules des cotonniers semés à la première date sont significativement plus élevées que celles des cotonniers semés plus tard sauf au début du cycle où l'inverse est observé (Tableau 4).

Tableau 4 : évolution des charges en capsules de 10 cotonniers en fonction des programmes de protection

	nombre de capsules pour 10 cotonniers à différentes dates en JAL				
	80	90	100	110	120
PV	6,9	12,8	20,3	23,7	27,3
PS	7,3	13,1	20,3	24,7	28,5
PSN1	7,5	13,7	19,3	23,9	27,3
F programme	0,18	0,26	0,27	0,29	0,87
signification en %	83,6	77,6	77,0	75,5	43,5
S1	5,2 b	12,5	22,1 a	26,8 a	30,8 a
S2	9,3 a	13,9	17,8 b	21,4 b	24,5 b
F date de semis	29,05	1,98	11,52	23,50	51,19
signification en %	0,0	16,9	0,2	0,0	0,0
F interaction programme date de semis	0,75	0,19	0,18	0,62	1,09
signification en %	48,7	82,7	83,4	55,0	35,5
CV en %	31,5	23,6	18,9	13,9	9,6

Aucune influence significative des deux facteurs étudiés et de leur interaction n'est apparue dans les densités de plantation à la récolte (Tableau 5). Mais ces densités de plantation à la récolte sont loin de l'objectif fixé : de 38 % à 64 % de l'objectif selon la méthode

d'observation et les différentes modalités croisant les deux facteurs. Au niveau du nombre de branches fructifères par plant on ne note pas d'effet significatif des deux facteurs étudié alors que leur interaction l'est : elle permet de distinguer uniquement les deux dates de semis pour les parcelles recevant le programme actuel d'intervention sur seuil avec un nombre de branches fructifères plus élevé pour la deuxième date (Tableau 5).

Tableau 5 : effets des programmes de protection, de date de semis et de l'interaction entre ces deux facteurs sur les densités de plantation à la récolte et sur le nombre de branches fructifères par plant

	densité de plantation (en plants/m ²)		nombre de branches fructifères par plant
	tronçon de ligne de 4,5 m	4 lignes centrales	
PV	4,8	3,3	14,7
PS	5,2	3,3	14,2
PSN1	5,1	3,4	15,3
F programme	0,63	0,16	1,27
signification en %	54,6	85,4	29,9
S1	5,2	3,5	14,2
S2	4,8	3,2	15,2
F date de semis	1,14	1,73	3,08
signification en %	29,6	19,8	8,8
PV S1	5,3	3,5	14,8 ab
PS S1	5,0	3,3	12,6 b
PSN1 S1	5,3	3,7	15,2 ab
PV S2	4,3	3,2	14,6 ab
PS S2	5,4	3,2	15,7 a
PSN1 S2	4,9	3,2	15,3 ab
F interaction programme date de semis	1,36	0,23	3,51
signification en %	27,4	79,7	4,4
CV en %	19,8	20,3	11,5

L'examen détaillé de la production à l'échelle des plants ne montre pas des taux de rétention des organes fructifères très élevés sur les premières positions de branches fructifères (Figure 6) : en moyenne ils sont toujours inférieurs à 45 %. A l'exception de la 1^{ière} et de la 10^{ième} semaine de production d'organes fructifères ces taux moyens de rétention sont plus élevés pour la première date de semis (Figure 6). Un effet des pluies tardives de cette campagne sur les taux moyens de rétention est apparu pour les deux dates de semis mais il a été plus marqué pour la première date de semis surtout pour les productions des 8^{ième} et 9^{ième} semaines de production d'organes fructifères que pour la seconde date où il se manifeste un peu plus longtemps jusqu'à la 10^{ième} semaine de production d'organes fructifères (Figure 6). Cependant on ne note aucun effet des facteurs étudiés sur ces taux de rétention des organes fructifères et aucune interaction significative entre ces deux facteurs (Tableau 6).

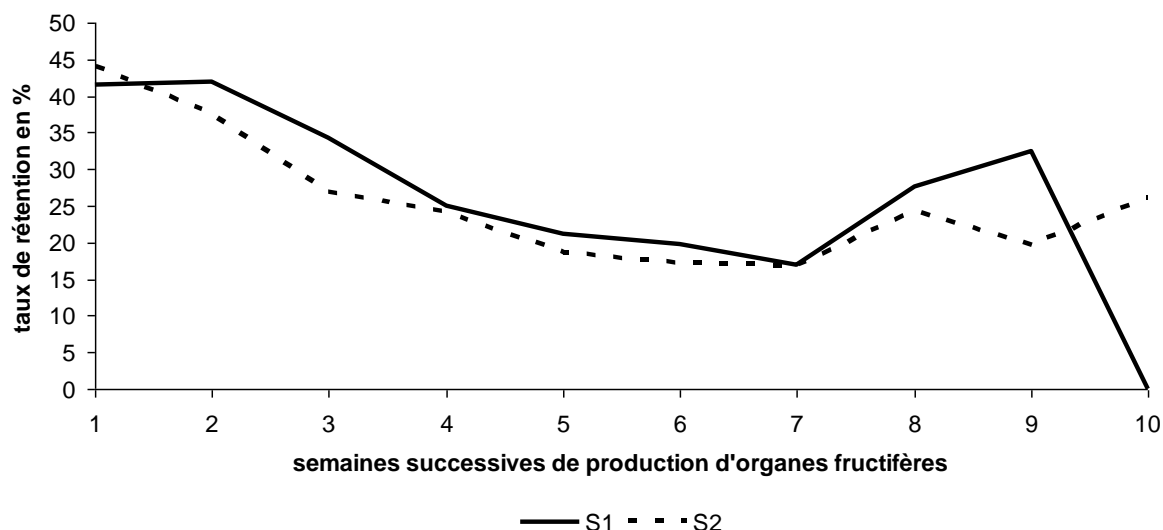


Figure 6 : taux moyen de rétention des organes fructifères produits en première position de branche fructifère par semaine successive de production d'organes fructifères en fonction des dates de semis

Tableau 6 : influence des programmes de protection, de date de semis et de l'interaction entre ces deux facteurs sur les taux de rétention des organes fructifères produits en première position de branche fructifère sur l'ensemble de la campagne ou par semaine successive de production d'organes fructifères¹⁵

	taux de rétention en % des organes fructifères produits						
	sur l'ensemble de la campagne	au cours de la première semaine	au cours de la deuxième semaine	au cours de la troisième semaine	au cours de la quatrième semaine	au cours de la cinquième semaine	au cours de la sixième semaine
PV	33,2	44,9	45,4	33,6	28,0	22,1	16,2
PS	26,9	39,3	33,8	27,8	18,2	12,6	13,8
PSN1	28,1	43,4	38,5	27,8	20,6	16,8	13,6
F programme	1,77	0,68	1,83	0,94	1,71	1,89	0,15
signification en %	19,0	51,9	17,9	40,6	20,0	17,1	85,9
S1	31,2	41,2	41,6	33,7	23,6	18,2	14,7
S2	27,6	43,8	36,8	25,9	20,8	15,9	14,3
F date de semis	1,59	0,41	0,98	3,81	0,40	0,35	0,01
signification en %	21,7	53,5	33,4	5,9	53,9	56,7	91,6
PV S1	34,6	42,8	48,5	36,7	29,0	27,8	19,7
PS S1	26,8	34,3	36,0	30,6	18,0	8,7	9,2
PSN1 S1	32,3	46,6	40,6	33,8	24,1	20,4	16,1
PV S2	31,8	47,0	42,3	30,7	27,0	17,0	13,0
PS S2	27,0	44,3	31,8	24,9	18,4	17,2	19,0
PSN1 S2	24,2	40,2	36,4	22,3	17,3	13,5	11,3
F interaction programme date de semis	0,74	1,39	0,02	0,25	0,24	2,31	1,51
signification en %	49,3	26,7	98,5	78,6	79,2	11,8	23,9
CV en %	16,6	17,5	22,4	22,7	32,8	37,5	46,4
Transformation	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p

¹⁵ Au-delà de la 6^{ième} semaine de production d'organes fructifères les analyses statistiques n'ont pas pu être entreprises en raison du nombre de données parcellaires incalculables (absence de production de site fructifère)

En moyenne 60,2 % (pour la première date de semis) et 58,5 % (pour la deuxième date de semis) des premières positions de branches fructifères occupées par un organe fructifère à la récolte le sont par des capsules entièrement saines (Tableau 6). Les taux moyens de capsules entièrement saines chutent relativement régulièrement quelle que soit la date de semis (Figure 7). On ne note aucun effet des facteurs étudiés sur ces taux de capsules entièrement saines et aucune interaction significative entre ces deux facteurs (Tableau 7).

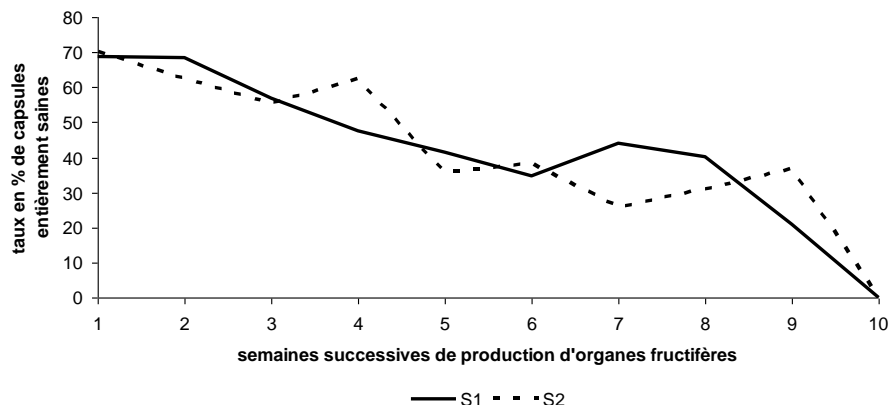


Figure 7 : taux moyen de capsules entièrement saines des organes fructifères retenus par semaine successive de production d'organes fructifères

Tableau 7 : influence des programmes de protection, de date de semis et de l'interaction entre ces deux facteurs sur les taux de capsules entièrement saines pour les organes fructifères en première position de branche fructifère retenus sur l'ensemble de la campagne et par semaine de production d'organes fructifères¹⁶

	taux de capsules entièrement saines en % des organes fructifères en première position de branche fructifère retenus et produits			
	sur l'ensemble de la campagne	au cours de la première semaine	au cours de la deuxième semaine	au cours de la troisième semaine
PV	63,8	72,0	73,2	60,1
PS	58,8	70,5	64,2	65,7
PSN1	56,4	68,1	63,0	45,4
F programme	1,19	0,21	1,04	2,31
signification en %	32,2	81,4	37,1	11,8
S1	60,6	69,7	69,4	58,7
S2	58,8	70,7	64,3	55,6
F date de semis	0,21	0,04	0,62	0,15
signification en %	65,8	84,2	44,3	69,9
PV S1	60,4	66,4	68,2	57,3
PS S1	62,2	72,8	71,2	75,8
PSN1 S1	59,1	69,9	68,7	41,8
PV S2	67,1	77,3	77,9	62,9
PS S2	55,3	68,1	56,8	54,7
PSN1 S2	53,6	66,3	57,1	49,0
F interaction programme date de semis	1,16	1,06	1,47	1,43
signification en %	33,0	36,3	24,9	25,7
CV en %	14,0	16,3	21,3	28,2
Transformation	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p

¹⁶ seuls les résultats des trois premières semaines de production d'organes fructifères ont pu être analysés statistiquement

En terme de précocité de production mesurée par la date d'apparition la plus tardive des organes fructifères contribuant déjà à 50 %, 70 % et 90 % de la production totale de capsules entièrement saines en première position de branche fructifère le seul effet positif apparu est celui de la date de semis lorsque l'on considère 50 % de la production totale de capsules entièrement saines (Tableau 8) : la production semble alors plus précoce avec la deuxième date de semis toutefois le test de Newman Keuls à 5 % ne distingue pas les deux dates de semis.

Tableau 8 : date d'apparition (en JAL) la plus tardive des organes fructifères contribuant déjà à 50 %, 70 % et 90 % de la production totale de capsules entièrement saines en première position de branche fructifère en fonction des programmes de protection, de date de semis et de l'interaction entre ces deux facteurs

	date d'apparition (en JAL) la plus tardive des organes fructifères contribuant déjà à x % de la production totale de capsules entièrement saines des premières positions de branches fructifères		
	50 %	70 %	90 %
PV	46,3	54,0	66,9
PS	44,5	52,4	60,3
PSN1	43,3	51,8	64,1
F programme	0,81	0,33	1,79
signification en %	46,2	72,9	18,6
S1	46,7 a	54,2	64,3
S2	42,7 a	51,2	63,2
F date de semis	4,16	1,71	0,15
signification en %	5,0	20,0	69,9
PV S1	48,7	56,8	69,1
PS S1	45,8	51,0	57,1
PSN1 S1	45,7	54,9	66,8
PV S2	44,0	51,2	64,7
PS S2	43,2	53,7	63,5
PSN1 S2	40,9	48,7	61,4
F interaction programme date de semis	0,14	1,49	1,74
signification en %	87,4	24,4	19,4
CV en %	13,1	13,3	13,6

Cette plus grande précocité d'élaboration de la production notée pour la date de semis tardive lorsque l'on considère 50 % de la production de capsules entièrement saines pourrait provenir d'un raccourcissement du cycle puisque la durée entre l'apparition du premier square et la date de première ouverture des capsules est plus faible (Tableau 9). Par ailleurs aucun effet des programmes de protection n'est observé pour cette caractéristique (Tableau 9).

Tableau 9 : effet des programmes de protection sur la durée entre la date d'apparition du premier bouton floral et la date de première ouverture de capsule

	durée (en jours) entre la date d'apparition du premier bouton floral et la date de première ouverture de capsule
PV	86,6
PS	85,2
PSN1	85,7
F programme	0,89
signification en %	42,6
S1	89,1 b
S2	82,6 a
F date de semis	54,63
signification en %	0,0
PV S1	89,8
PS S1	88,2
PSN1 S1	89,2
PV S2	83,3
PS S2	82,2
PSN1 S2	82,2
F interaction programme date de semis	0,11
signification en %	89,8
CV en %	3,1

Dans les performances productives (Tableau 10) on n'observe d'effet significatif que pour la date de semis avec une perte de 274 kg/ha avec un retard au semis de 21 jours (soit 13 kg/ha par jour de retard au semis). L'effet des programmes de protection sur les performances productives frôle la signification (Tableau 10). Cela pourrait être du à des pertes plus importantes avec des interventions calendaires qu'avec des interventions sur seuil lorsque la date de semis est retardée de 21 jours : de 5 % à 15 % (Tableau 10). Toutefois l'interaction entre ces deux facteurs n'est pas significative (Tableau 10). En raison de nombres plus faibles d'interventions insecticides, il n'est donc pas étonnant que sur la base d'un prix d'achat du coton graine de 170 F CFA/kg et d'un coût moyen d'une intervention insecticide de 8 107 F CFA/ha¹⁷, les meilleurs produits diminués des coûts de protection sont significativement obtenus avec les programmes d'interventions sur seuil sans qu'ils diffèrent entre eux (Tableau 8). Comme pour les performances productives le taux de perte en produit diminué des coûts de protection du programme d'interventions calendaires par rapport aux programmes d'interventions sur seuil augmente avec un retard au semis : de 27 % à 46 % sans que l'interaction entre les deux facteurs étudiés soit significative (Tableau 10). Enfin, fort logiquement la première date de semis procure significativement les meilleurs produits diminués des coûts de protection (Tableau 8).

¹⁷ pour l'année 2008, le coût de 8 107 F CFA/ha pour une intervention insecticide était décomposé en 4 507 F CFA d'achat d'un litre d'insecticide, 900 F CFA le coût des piles pour une application, 150 F CFA le coût de la main d'œuvre pour la réalisation d'une application et 2 550 F CFA le coût de l'amortissement et de l'entretien de l'appareil de traitement par application

Tableau 10 : rendement en coton graine et produit diminué des coûts de protection en fonction des programmes de protection, de la date de semis et de l'interaction entre ces deux facteurs

	rendement en kg de coton graine par hectare	produit diminué des coûts de protection en F CFA par hectare
PV	934	110069 b
PS	1030	170362 a
PSN1	1031	171935 a
F programme	3,27	39,97
signification en %	5,4	0,0
S1	1135 a	172303 a
S2	861 b	129274 b
F date de semis	58,86	44,61
signification en %	0,0	0,0
PV S1	1096	137738
PS S1	1133	184471
PSN1 S1	1177	194700
PV S2	771	82400
PS S2	927	156253
PSN1 S2	885	149170
F interaction programme date de semis	0,99	1,52
signification en %	38,6	23,8
CV en %	10,7	12,8

5 Discussions et conclusion

Même si les interactions ne sont pas significatives cette étude montre qu'en termes de production et de rentabilité économique, il est d'autant plus indiqué d'adopter une protection par des interventions sur seuil plutôt que par des interventions calendaires lorsque la date de semis est retardée. Sur le plan de l'efficacité vis-à-vis des chenilles de la capsule la modulation des seuils en cours de campagne semblerait mieux convenir aux semis tardifs qu'aux semis précoces mais cela a été sans répercussion sur les performances productives et économiques probablement parce que les infestations de chenilles de la capsule en fin de campagne sur des semis précoces ont une trop faible incidence sur celles-ci.

INTERET DES INTERVENTIONS SUR SEUIL CONTRE LES CHENILLES DE LA CAPSULE BASEES SUR LA COMPOSITION EN ESPECES DES INFESTATIONS

1 Justification

Dans le programme actuel d'interventions sur seuil les décisions de certaines¹⁸ applications insecticides reposent sur l'observation des infestations de chenilles de la capsule (*Helicoverpa armigera* Hübner, *Diparopsis watersi* Rotschild et *Earias* spp¹⁹). Mais, il n'est pas tenu compte de la composition en espèces des infestations alors qu'elles ne présentent certainement pas la même nuisibilité. Il pourrait alors être intéressant de pondérer les infestations rencontrées par les nuisibilités respectives des différentes espèces présentes.

2 Objectifs

Le principal objectif de cette étude a été d'évaluer deux règles de décision relativement simples pour intervenir contre les chenilles de la capsule en considérant que l'espèce *H. armigera* est la plus nuisible.

3 Matériels et méthodes

3.1 modalités étudiées, dispositif statistique, parcelle élémentaire

Dans un dispositif statistique en blocs de Fisher à 6 répétitions quatre modalités de protection phytosanitaire de la culture cotonnière vis-à-vis des chenilles de la capsule (Tableau 1) ont été comparées avec des parcelles élémentaires de 64 m² (8 lignes de 10 mètres).

Tableau 1 : modalités de protection

code	programme de protection	seuil utilisé
PV	interventions tous les 14 jours à partir du 45 ^{ième} JAL ²⁰	pas de seuil
PS	interventions sur seuil à partir du 30 ^{ième} JAL	5 chenilles/25 plants
PSN1	interventions sur seuil à partir du 30 ^{ième} JAL	nouveau seuil 1
PSN2	interventions sur seuil à partir du 30 ^{ième} JAL	nouveau seuil 2

Le nouveau seuil 1 accordait plus d'importance à l'espèce *H. armigera* : le nombre **x** de chenilles d' *H. armigera* a été doublé alors que ceux de *D. watersi* (**y**) et d'*Earias* (**z**) n'ont pas été changés. Une intervention insecticide était alors décidée si **2x + y + z** était supérieur ou égal à 5 le nombre de plants à observer étant toujours de 25 par parcelle.

Le nouveau seuil 2 accordait une importance encore plus grande à l'espèce *H. armigera* : le nombre **x** de chenilles d' *H. armigera* a été triplé alors que ceux de *D. watersi* (**y**) et d'*Earias*

¹⁸ Dans le programme actuellement diffusé des interventions sur seuil peuvent être dirigées contre les pucerons, les aleurodes et *Syllepte derogata* (Fabricius)

¹⁹ deux espèces du genre *Earias* sont présentes au Mali : *E. biplaga* (Walker) et *E. insulana* (Boisduval)

²⁰ Jour Après la Levée

(z) n'ont pas été changés. Une intervention insecticide était alors décidée si $3x + y + z$ était supérieur ou égal à 5 le nombre de plants à observer étant toujours de 25 par parcelle.

Pour les interventions avant le 72^{ième} JAL une alternative aux pyréthriinoïdes²¹ a été utilisée. Elle fut par la suite remplacée par une association d'un pyréthriinoïde à une autre matière active²². Seules les six lignes centrales de chaque parcelle élémentaire étaient concernées par les applications insecticides.

3.2 conditions de culture

L'étude a été implantée le 16 juin avec des semences de la variété STAM 59A. Au préalable le site d'implantation a reçu 5 tonnes de fumier par hectare en raison de la faible fertilité des sols de la sous station de Farako. En dehors de la protection insecticide, toutes les recommandations de la recherche ont été appliquées : densité de plantation de 8,3 plants/m² (interligne de 0,8 mètre, inter poquet de 0,3 mètre et démariage à 2 plants/poquets), contrôle de l'enherbement par sarclages manuels (réalisés au 16^{ième} JAL, 29^{ième} JAL, 42^{ième} JAL et 55^{ième} JAL), fertilisation minérale composée de 200 kg/ha d'engrais complet apporté au 16^{ième} JAL et de 50 kg/ha d'urée épandu au 29^{ième} JAL et buttage au 56^{ième} JAL.

3.3 observations

3.3.1 date d'apparition du premier bouton floral

Cette observation a été effectuée sur tous les plants d'une des lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. On y a compté quotidiennement le nombre de plants ayant des squares (très jeunes boutons floraux) à partir du 25^{ième} JAL. Dès que ce nombre atteignait la moitié du nombre de plants d'une ligne l'observation était arrêtée sur cette ligne. La dernière date d'observation par ligne était alors considérée comme la date moyenne d'apparition du premier square au niveau de cette parcelle élémentaire.

3.3.2 chenilles de la capsule

Du 30^{ième} au 135^{ième} JAL, les chenilles de la capsule ont été dénombrées une fois par semaine sur 25 plants répartis sur les deux lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. Les enregistrements ont distingué les trois espèces principales : *H. armigera*, *D. watersi* et *Earias* spp.

3.3.3 dénombrement de capsules

Au 70^{ième}, 80^{ième}, 90^{ième}, 100^{ième}, 110^{ième}, 120^{ième} et 130^{ième} JAL, on a observé 10 plants par parcelle élémentaire. Pour chaque plant on a relevé le nombre de capsules portées ayant un diamètre supérieur à celui d'une pièce de 25 F CFA²³. Les plants observés ne changeaient pas du début à la fin de la campagne

3.3.4 date de début d'ouverture des capsules

Cette observation a été réalisée sur tous les plants d'une des lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. On y a compté tous les deux jours le nombre de plants ayant des capsules ouvertes (une seule capsule ouverte par plant suffisant) sur chaque ligne à partir du 90^{ième} JAL. Dès que ce nombre atteignait la moitié du nombre de plants d'une ligne cette

²¹ Avaunt® (indoxacarbe 150g/l) utilisé à 0,16 litre/ha

²² CAPT 88EC® (cyperméthrine- acétaméprid 72-16) utilisée à 0,5 litre/ha

²³ Des études conduites en 2008 ont montré que des capsules ayant ce diamètre ne sont plus sujettes à une abscission

observation était arrêtée. La dernière date d'observation était alors considérée comme la date moyenne de début d'ouverture des capsules de la parcelle élémentaire.

3.3.5 examen de la production à l'échelle de plants

Par parcelle élémentaire un tronçon de 4,5 mètres a été délimité sur une des lignes centrales. Pour chaque plant présent sur chaque tronçon on n'a observé que les premières positions de branches fructifères. Pour chaque position on a noté si elle était occupée par une capsule entièrement saine, un autre organe fructifère (bouton, fleur, capsule partiellement saine, pourrie ou momifiée sans précision) ou si aucun organe fructifère n'était porté²⁴.

3.3.6 rendement et stand

Le coton graine produit sur les 4 lignes centrales de chaque parcelle élémentaire a ensuite été récolté puis pesé. Parallèlement le nombre de plants présents sur ces lignes a été relevé.

4 Résultats

Sur l'ensemble de la campagne les chenilles d'*Earias* spp ont été les plus nombreuses (Figure 1). Elles dominent particulièrement le début de la campagne jusqu'au 65^{ème} JAL (Figure 2). Par la suite elles restent encore très présentes mais alternent le plus souvent avec celles d'*H. armigera* à la tête du complexe des chenilles de la capsule (Figure 2). *D. watersi* reste l'espèce la plus discrète en particulier au début de la campagne avant le 72^{ème} JAL (Figure 2). Les chenilles de cette dernière espèce sont plus abondantes par la suite (Figure 2).

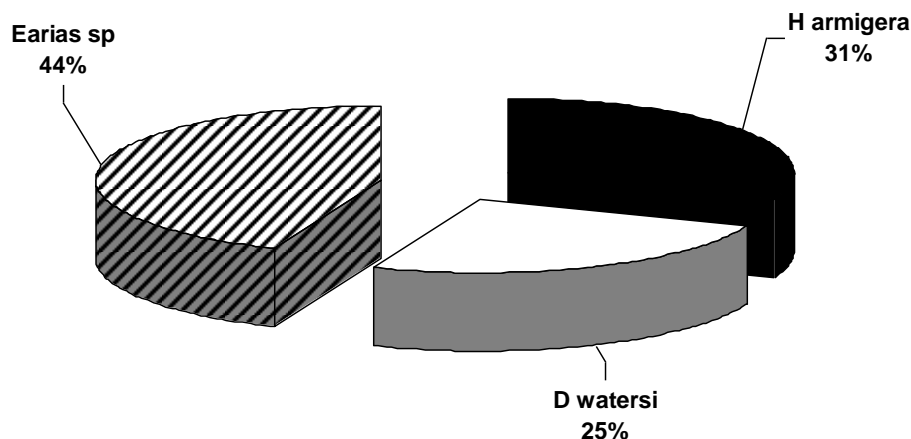


Figure 1 : Importances relatives des différentes espèces de chenilles de la capsule sur l'ensemble de la campagne

²⁴ Des études conduites en 2008 ont montré que cet examen simplifié de la production à l'échelle de plant rendait parfaitement compte des certaines caractéristiques de la production à l'échelle de plants entiers : taux de capsules entièrement saines, nombre de capsules entièrement saines et taux de rétention des organes fructifères.

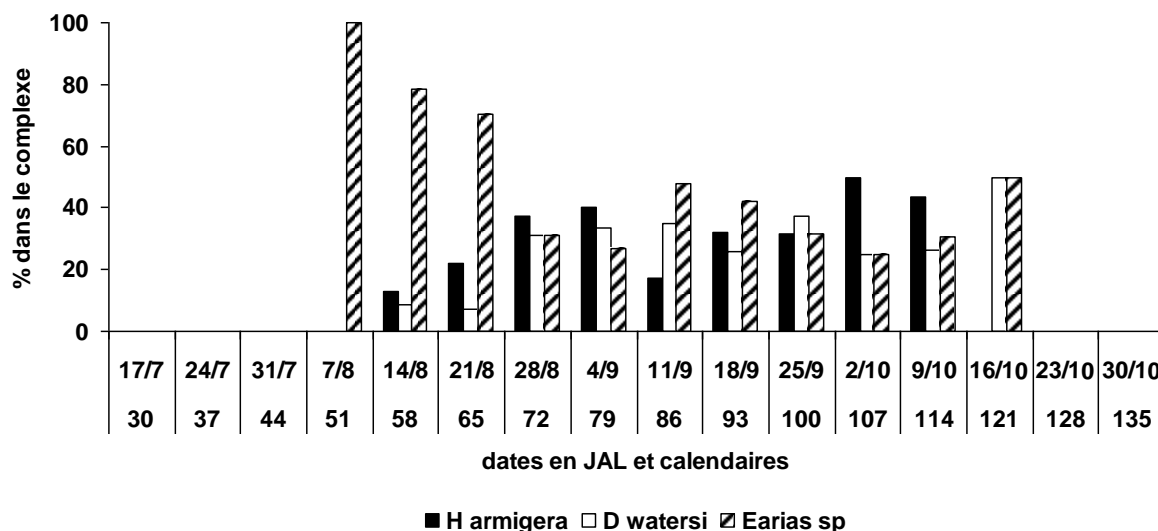


Figure 2 : évolutions des importances relatives des différentes espèces de chenilles de la capsule au cours de la campagne

Les infestations moyennes de chenilles de la capsule sont restées faibles tout au long de la campagne (< 9 chenilles pour 100 plants) comme le montre la figure 3. Deux pics d'infestation sont observés : le premier à la fin du mois d'août et le second à la fin du mois de septembre (Figure 3). En raison de la faiblesse des infestations une seule parcelle a reçu une seule intervention insecticide (au 58^{ième} JAL) sur la base du seuil de 5 chenilles pour 25 plants, les différentes espèces étant considérées comme également nuisibles (Figure 3). Avec les nouveaux programmes d'interventions sur seuil (PSN1 et PSN2), les applications insecticides ont été plus nombreuses (Figure 3) mais à l'exception d'une seule application elles n'auraient pas été réalisées si la règle de décision n'avait pas été changée. Par ailleurs ces applications n'ont pas débuté plus tôt (Figure 3) car *H. armigera* est peu présent en début de campagne.

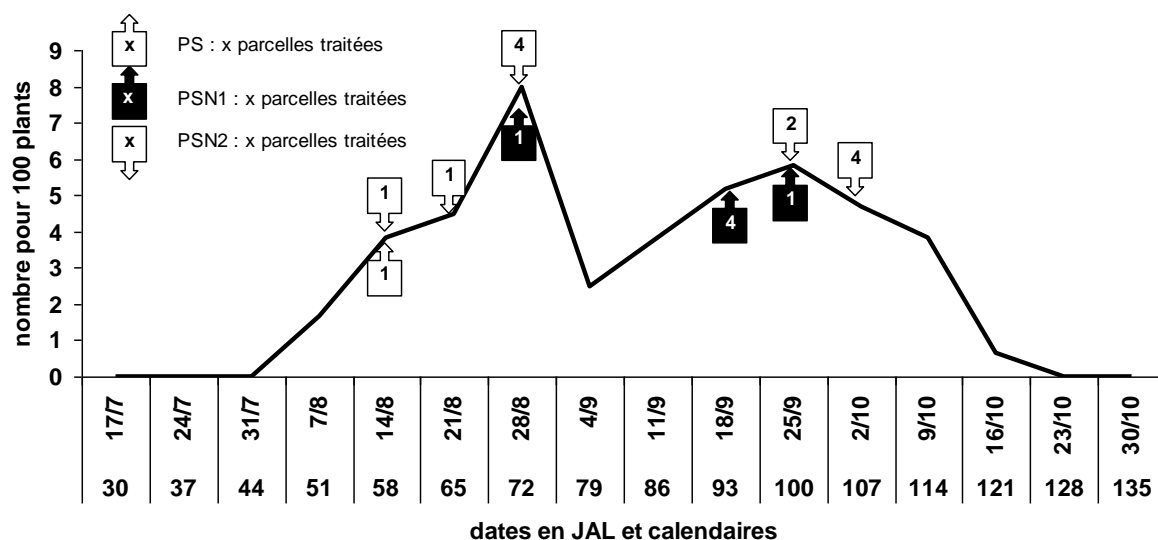


Figure 3 : Dynamique moyenne des infestations de chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) et positionnement des interventions sur seuil en fonction des programmes de protection

En termes de nombres d'applications insecticides les meilleurs résultats sont obtenus par le programme actuel d'interventions sur seuil (PS) qui diffère statistiquement du programme

PSN1 lui-même diffèrent statistiquement du programme PSN2 (Tableau 2). Mais les économies d'insecticides par rapport au programme d'interventions calendaires restent encore importantes avec le programme PSN1 (83 %) et sont un peu plus faibles avec le programme PSN2 (66 %) en raison d'un nombre d'interventions plus élevé avant le 93^{ième} JAL (Figure 3). D'une manière générale le contrôle de l'ensemble des chenilles de la capsule a été d'autant plus efficace que le nombre d'applications insecticides a été plus élevé : les meilleurs résultats sont donc obtenus avec le programme d'interventions calendaires, puis par les deux nouveaux programmes d'interventions sur seuil (Tableau 2). Mais ce classement ne s'observe pas en considérant les espèces séparément et en particulier pour les chenilles d'*H. armigera* car tous les programmes d'interventions sur seuil présentent la même efficacité vis-à-vis de ce ravageur qui est significativement inférieure à celle des interventions calendaires (Tableau 2).

Tableau 2 : nombre d'applications insecticides et infestations de chenilles de la capsule en fonction des programmes de protection

	nombre d'applications par hectare	nombre de chenilles pour 100 plants par observation			
		H. armigera	D. watersi	Earias	cumul
PV	6,0 d	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
PS	0,2 a	1,29 b	1,17 b	1,75 b	4,21 c
PSN1	1,0 b	1,25 b	0,79 b	1,54 b	3,58 b
PSN2	2,0 c	0,88 b	0,88 b	1,58 b	3,33 b
F programmes	106,78	21,12	11,81	13,69	65,45
signification en %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CV en %	26,7	37,4	50,2	44,4	20,6

Les charges en capsules des cotonniers sont significativement plus importantes dans les parcelles protégées par des interventions calendaires (PS) jusqu'au 110^{ième} JAL (Tableau 3) mais cette différence ne se maintient pas par la suite (Tableau 3).

Tableau 3 : évolution des charges en capsules de 10 cotonniers en fonction des programmes de protection

JAL	nombre de capsules pour 10 cotonniers à différentes dates						
	70	80	90	100	110	120	130
calendaire	26-août	05-sept	15-sept	25-sept	05-oct	15-oct	25-oct
PV	4,2 a	8,0 a	17,8 a	24,5 a	27,5 a	31,8	34,8
PS	1,8 b	5,7 b	13,2 b	20,0 b	23,8 b	28,3	31,7
PSN1	2,7 ab	6,3 b	13,7 b	20,5 b	24,5 b	30,7	34,2
PSN2	0,5 b	4,8 b	11,7 b	19,3 b	23,3 b	28,8	31,8
F programmes	6,68	8,87	7,94	7,33	3,55	2,46	2,38
signification en %	0,5	0,1	0,2	0,3	4,0	10,2	11,0
CV en %	63,5	17,8	16,3	10,0	9,8	8,5	7,7

Aucune différence significative n'est apparue dans les densités de plantation à la récolte mais ces densités de plantation à la récolte sont loin de l'objectif fixé : de 42 % à 70 % de cet objectif selon la méthode d'observation et le programme de protection. Aucune différence significative n'est également apparue entre les programmes de protection pour les nombres de branches fructifères par plant (Tableau 4).

Tableau 4 : effets des programmes de protection sur les densités de plantation à la récolte et sur le nombre de branches fructifères par plant

	densité de plantation (en plants/m ²)		nombre de branches fructifères par plant
	tronçon de ligne de 4,5 m	4 lignes centrales	
PV	5,8	4,0	15,0
PS	5,1	3,6	16,7
PSN1	5,2	3,5	15,5
PSN2	5,7	3,7	15,1
F programme	1,33	1,41	0,31
signification en %	30,2	28,0	82,0
CV en %	14,3	12,7	21,5

L'examen détaillé de la production à l'échelle des plants ne montre pas des taux de rétention des organes fructifères très élevés sur les premières positions de branches fructifères (Figure 5) : ils sont toujours inférieurs à 60 %. Un effet des pluies tardives de cette campagne sur le taux moyen de rétention est très possible puisqu'ils ne chutent pas régulièrement comme cela est souvent observé (Figure 5). Pour cette caractéristique les meilleurs résultats sont presque toujours obtenus par le programme d'interventions calendaires sauf pour les organes fructifères apparus au cours des deux premières semaines de production d'organes fructifères pour lesquels le nouveau programme d'interventions sur seuil (PSN1) offre les taux de rétention les plus élevés plus (Tableau 5). Toutefois les seules différences significatives apparues isolent surtout les mauvais résultats du programme d'interventions sur seuil (PSN2) qui quelle que soit la semaine de production d'organes fructifères considérée donne toujours les plus faibles taux de rétention (Tableau 5).

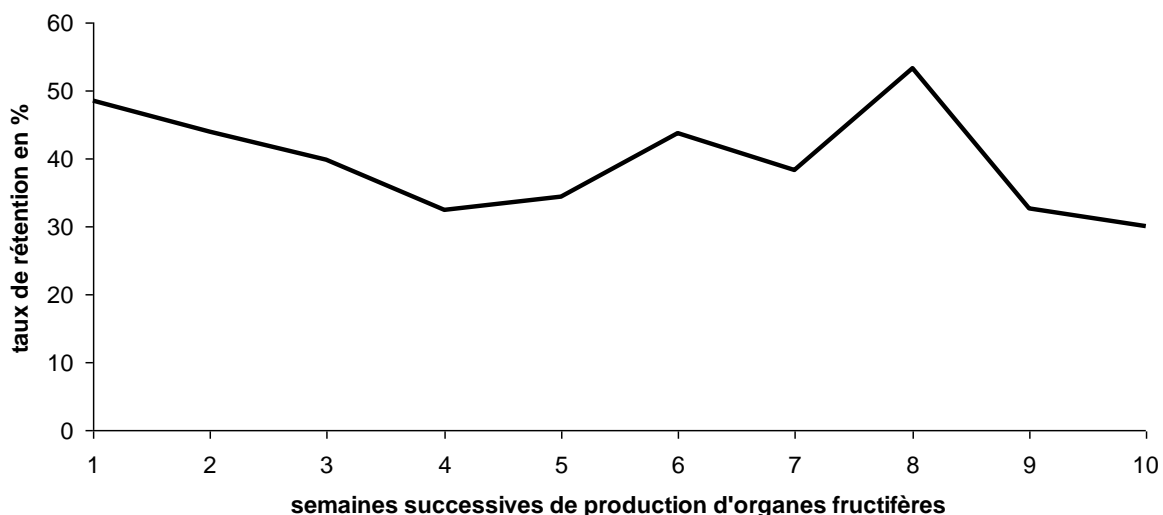


Figure 5 : taux moyen de rétention des organes fructifères produits en première position de branche fructifère par semaine successive de production d'organes fructifères

Tableau 5 : influence des programmes de protection sur les taux de rétention des organes fructifères produits en première position de branche fructifère sur l'ensemble de la campagne ou par semaine successive de production d'organes fructifères²⁵

	taux de rétention en % des organes fructifères produits						
	sur l'ensemble de la campagne	au cours de la première semaine	au cours de la deuxième semaine	au cours de la troisième semaine	au cours de la quatrième semaine	au cours de la cinquième semaine	au cours de la sixième semaine
PV	47,9	53,8 a	49,7	52,4 a	41,5	45,5	69,6
PS	41,3	50,7 a	43,9	39,2 ab	33,8	32,7	44,3
PSN1	42,7	55,7 a	50,5	42,9 ab	30,3	31,4	27,8
PSN2	29,6	33,4 b	30,6	22,5 b	16,8	19,0	24,3
F programme	3,25	8,77	2,82	4,62	1,96	1,51	2,06
Signification en %	5,1	0,1	7,4	1,8	16,3	25,2	14,8
CV en %	15,8	11,1	19,2	22,3	35,2	39,4	52,5
transformation	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p

En moyenne seulement 57,6 % des premières positions de branches fructifères occupées par un organe fructifère à la récolte le sont par des capsules entièrement saines (Tableau 6). Sans grande variation de la première à la huitième semaine de production d'organes fructifères les taux moyens de capsules entièrement saines ne dépassent jamais 70 % (Figure 6). Sur l'ensemble de la campagne les taux de capsules entièrement saines les plus faibles sont obtenus avec le programme d'interventions sur seuil (PSN2) mais ils ne diffèrent statistiquement que de ceux observés dans les parcelles protégés par des interventions calendaires (Tableau 6). Toutefois cette faiblesse du programme d'interventions sur seuil (PSN2) n'apparaît pas au niveau des productions d'organes fructifères de trois premières semaines de production (Tableau 6).

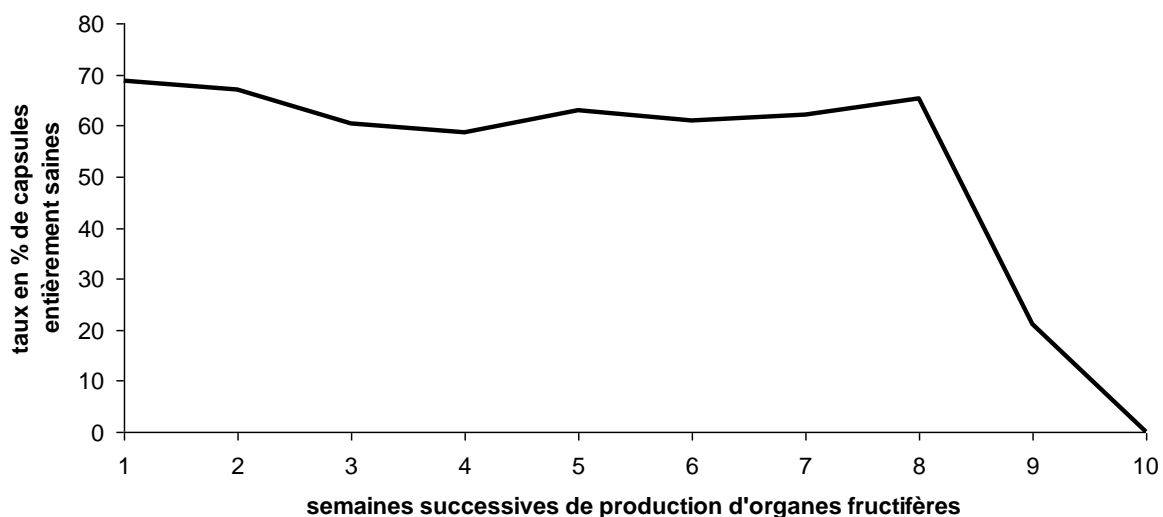


Figure 6 : taux moyen de capsules entièrement saines des organes fructifères retenus par semaine successive de production d'organes fructifères

²⁵ Au-delà de la 6^{ième} semaine de production d'organes fructifères les analyses statistiques n'ont pas pu être entreprises en raison du nombre de données parcellaires incalculables (absence de production de site fructifère)

Tableau 6 : taux de capsules entièrement saines pour les organes fructifères en première position de branche fructifère retenus sur l'ensemble de la campagne et par semaine de production d'organes fructifères en fonction des programmes de protection²⁶

	taux de capsules entièrement saines en % des organes fructifères en première position de branche fructifère retenus et produits			
	sur l'ensemble de la campagne	au cours de la première semaine	au cours de la deuxième semaine	au cours de la troisième semaine
PV	67,2 a	73,2	71,8	68,0
PS	55,9 ab	62,8	67,2	53,6
PSN1	58,4 ab	67,5	64,2	64,9
PSN2	48,7 b	74,1	75,0	57,2
F programme	5,61	1,88	0,38	1,45
signification en %	0,9	17,5	77,1	26,7
CV en %	9,4	10,3	20,9	15,5
transformation	arcsin√p	Arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p

En terme de précocité de production mesurée par la date d'apparition la plus tardive des organes fructifères contribuant déjà à 50 %, 70 % et 90 % de la production totale de capsules entièrement saines en première position de branche fructifère aucune différence significatives n'apparaît entre les programmes de protection (Tableau 7). Toutefois on notera que la plus grande précocité de production des parcelles recevant le programme d'interventions sur seuil (PSN2) disparaît si on considère plus de 70 % de la production de capsules entièrement saines (Tableau 7).

Tableau 7 : date d'apparition (en JAL) la plus tardive des organes fructifères contribuant à 50 %, 70 % et 90 % de la production totale de capsules entièrement saines en première position de branche fructifère en fonction des programmes de protection

	date d'apparition (en JAL) la plus tardive des organes fructifères contribuant déjà à x % de la production totale de capsules entièrement saines des premières positions de branches fructifères		
	50 %	70 %	90 %
PV	50,2	59,3	72,0
PS	50,0	60,0	72,5
PSN1	46,1	55,5	69,3
PSN2	42,6	51,7	71,1
F programme	1,30	1,04	0,07
signification en %	31,2	40,3	97,5
CV en %	16,4	16,2	18,5

Aucune différence statistiquement significative n'est observée dans la durée entre la date d'apparition du premier bouton floral et la date de la première ouverture de capsule (Tableau 8). Toutefois le coefficient de Fisher frôle la signification à 5 % (Tableau 8) avec des durées plus courtes pour tous les programmes d'interventions sur seuil par rapport au programme d'interventions calendaires.

²⁶ seuls les résultats des trois premières semaines de production d'organes fructifères ont pu être analysés statistiquement

Tableau 8 : effet des programmes de protection sur la durée entre la date d'apparition du premier bouton floral et la date de première ouverture de capsule

	durée (en jours) entre la date d'apparition du premier bouton floral et la date de première ouverture de capsule 50 %
PV	93,0
PS	90,8
PSN1	91,3
PSN2	89,3
F programme	3,25
signification en %	5,1
CV en %	2,3

Aucune différence significative n'est observée entre les programmes de protection dans les performances productives qu'ils permettent d'atteindre (Tableau 9). En raison de nombres plus faibles d'interventions insecticides, il n'est donc alors pas étonnant que sur la base d'un prix d'achat du coton graine de 170 F CFA/kg et d'un coût moyen d'une intervention insecticide de 8 107 F CFA/ha²⁷, les meilleurs produits diminués des coûts de protection soient obtenus avec les programmes d'interventions sur seuil sans qu'ils diffèrent statistiquement entre eux (Tableau 9). Toutefois il faut souligner que les performances économiques des programmes d'interventions sur seuil PSN1 et PSN2 ne diffèrent pas de celles du programme d'interventions calendaires alors que c'est le cas pour le programme actuel d'interventions sur seuil (Tableau 9).

Tableau 9 : rendement en coton graine et produit diminué des coûts de protection en fonction des programmes de protection

	rendement en kg de coton graine par hectare	produit diminué des coûts de protection en F CFA par hectare
PV	1117	141280 b
PS	1156	195211 a
PSN1	1122	182700 ab
PSN2	1010	155557 ab
F programme	0,92	4,31
signification en %	45,6	2,2
CV en %	14,6	17,2

5 Discussions et conclusion

Dans les interventions sur seuil, la prise en compte d'une plus grande nuisibilité de l'espèce *H. armigera* au sein du complexe des chenilles de la capsule a conduit à un plus grand nombre d'applications insecticides, n'a pas amélioré significativement pas le contrôle des chenilles de cette espèce et en ne procurant pas de supplément de production a abouti à des performances économiques au plus identiques à celles du programme actuel d'interventions sur seuil. Accorder une nuisibilité trois fois plus forte à *H. armigera* semble d'autre part exagéré dans la réalité.

²⁷ pour l'année 2008, le coût de 8 107 F CFA/ha pour une intervention insecticide était décomposé en 4 507 F CFA d'achat d'un litre d'insecticide, 900 F CFA le coût des piles pour une application, 150 F CFA le coût de la main d'œuvre pour la réalisation d'une application et 2 550 F CFA le coût de l'amortissement et de l'entretien de l'appareil de traitement par application

La plus grande importance des chenilles d'*Earias* sp au moins jusqu'au 65^{ième} JAL (sachant que 70 % de la production de capsules entièrement saines sont procurés par des organes fructifères apparus avant cette date) est probablement responsable des résultats assez décevant de cette étude.

Compte tenu de la dynamique des différentes espèces de chenilles de la capsule, il est alors possible qu'il faille accorder plus d'importance à celles de l'espèce *Earias* sp en début de campagne et à celles d' *H. armigera* en fin de campagne. Toutefois en dehors du risque d'augmenter encore le nombre d'interventions sur seuil, cette proposition pourrait être encore plus difficilement acceptée par les producteurs.

INTERET DES INTERVENTIONS SUR SEUIL CONTRE LES CHENILLES DE LA CAPSULE BASEES SUR LA STRUCTURE EN AGES DES INFESTATIONS

1 Justification

Dans le programme actuel d'interventions sur seuil les décisions de certaines²⁸ applications insecticides reposent sur l'observation des infestations de chenilles de la capsule (*Helicoverpa armigera* Hübner, *Diparopsis watersi* Rotschild et *Earias* spp²⁹). Mais, il n'est pas tenu compte de la structure en âges des infestations de ces ravageurs. Or d'un côté les applications insecticides seront d'autant plus efficaces qu'elles cibleront les jeunes stades larvaires très sensibles aux insecticides mais d'un autre côté les chenilles les plus âgées pourraient être prioritairement ciblées parce qu'elles provoquent plus de dégâts. Il serait alors intéressant d'examiner l'intérêt d'interventions sur seuil contre ces ravageurs prenant en compte la structure en âges des populations de ces ravageurs.

2 Objectifs

Le premier objectif de cette étude a été d'évaluer l'intérêt de règles de décision relativement simples pour intervenir sur seuil contre les chenilles de la capsule mais en prenant en compte l'âge des chenilles observées. Le deuxième objectif était d'examiner s'il était préférable d'accorder plus d'importance aux jeunes stades larvaires qu'aux stades larvaires âgés dans ces décisions. Le troisième objectif était d'examiner si la règle établie pour une meilleure prise en compte des jeunes stades larvaires autorisait une réduction des quantités de matières actives épandues puisque ces jeunes stades larvaires sont toujours plus sensibles aux insecticides que les stades larvaires âgés.

3 Matériels et méthodes

3.1 modalités étudiées, dispositif statistique, parcelle élémentaire

Dans un dispositif statistique en blocs de Fisher à 6 répétitions cinq modalités de protection phytosanitaire de la culture cotonnière vis-à-vis des chenilles de la capsule (Tableau 1) ont été comparées avec des parcelles élémentaires de 64 m² (8 lignes de 10 mètres).

²⁸ Dans le programme actuellement diffusé des interventions sur seuil peuvent être dirigées contre les pucerons, les aleurodes et *Syllepte derogata* (Fabricius)

²⁹ deux espèces du genre *Earias* sont présentes au Mali : *E. biplaga* (Walker) et *E. insulana* (Boisduval)

Tableau 1 : modalités de protection

code	programme de protection	seuil utilisé	Dose d'insecticide
PV	interventions tous les 14 jours à partir du 45 ^{ième} JAL ³⁰	pas de seuil	X
PS	interventions sur seuil à partir du 30 ^{ième} JAL	5 chenilles/25 plants	X
PSN1	interventions sur seuil à partir du 30 ^{ième} JAL	nouveau seuil 1	X
PSN2	interventions sur seuil à partir du 30 ^{ième} JAL	nouveau seuil 1	X/2
PSN3	interventions sur seuil à partir du 30 ^{ième} JAL	nouveau seuil 2	X

Le nouveau seuil 1 accordait plus d'importance aux jeunes stades de la façon suivante : le nombre x de chenilles qui n'avaient pas encore atteint le stade L3 a alors été doublé alors que celui y des chenilles ayant dépassé le stade L2 n'a pas été pas changé. Une intervention insecticide était alors décidée si $2x + y$ était supérieur ou égal à 5 le nombre de plants à observer étant toujours de 25 par parcelle élémentaire.

Le nouveau seuil 2 accordait plus d'importance aux stades âgés de la façon suivante : le nombre x de chenilles qui n'avaient pas encore atteint le stade L3 n'a pas été changé alors que celui y des chenilles ayant dépassé le stade L2 a été doublé. Une intervention insecticide était alors décidée si $x + 2y$ était supérieur ou égal à 5 le nombre de plants à observer étant toujours de 25 par parcelle élémentaire.

Pour les interventions avant le 72^{ième} JAL une alternative aux pyréthriinoïdes³¹ a été utilisée. Elle fut par la suite remplacée par une association d'un pyréthriinoïde à une autre matière active³². La dose X d'insecticide mentionnée dans le tableau 2 est celle recommandée par la recherche pour les formulations qui auront été sélectionnées conformément aux directives précédentes. Seules les six lignes centrales de chaque parcelle élémentaire étaient concernées par les applications insecticides.

3.2 conditions de culture

L'étude a été implantée le 16 juin avec des semences de la variété STAM 59A. Au préalable le site d'implantation a reçu 5 tonnes de fumier par hectare en raison de la faible fertilité des sols de la sous station de Farako. En dehors de la protection insecticide, toutes les recommandations de la recherche ont été appliquées : densité de plantation de 8,3 plants/m² (interligne de 0,8 mètre, inter poquet de 0,3 mètre et démariage à 2 plants/poquets), contrôle de l'enherbement par sarclages manuels (réalisés au 16^{ième} JAL, 29^{ième} JAL, 42^{ième} JAL et 55^{ième} JAL), fertilisation minérale composée de 200 kg/ha d'engrais complet apporté au 16^{ième} JAL et de 50 kg/ha d'urée épandu au 29^{ième} JAL et buttage au 56^{ième} JAL.

3.3 observations

3.3.1 date d'apparition du premier bouton floral

Cette observation a été effectuée sur tous les plants d'une des lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. On y a compté quotidiennement le nombre de plants ayant des squares (très jeunes boutons floraux) à partir du 25^{ième} JAL. Dès que ce nombre atteignait la moitié du nombre de plants d'une ligne l'observation était arrêtée sur cette ligne. La dernière date d'observation par ligne était alors considérée comme la date moyenne d'apparition du premier square au niveau de cette parcelle élémentaire.

³⁰ Jour Après la Levée

³¹ Avaunt® (indoxacarbe 150g/l) utilisé à 0,16 litre/ha

³² CAPT 88EC® (cyperméthrine- acétaméprid 72-16) utilisée à 0,5 litre/ha

3.3.2 chenilles de la capsule

Du 30^{ième} au 135^{ième} JAL, les chenilles de la capsule ont été dénombrées une fois par semaine sur 25 plants répartis sur les deux lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. Les enregistrements n'ont pas distingué les trois espèces principales (*H. armigera*, *D. watersi* et *Earias* spp) mais ont considéré deux catégories de stades larvaires : les jeunes stades larvaires (L1 et L2) et les stades larvaires plus âgées (> L2) .

3.3.3 dénombrement de capsules

Au 70^{ième}, 80^{ième}, 90^{ième}, 100^{ième}, 110^{ième}, 120^{ième} et 130^{ième} JAL, on a observé 10 plants par parcelle élémentaire. Pour chaque plant on a relevé le nombre de capsules portées ayant un diamètre supérieur à celui d'une pièce de 25 F CFA³³. Les plants observés ne changeaient pas du début à la fin de la campagne

3.3.4 date de début d'ouverture des capsules

Cette observation a été réalisée sur tous les plants d'une des lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. On y a compté tous les deux jours le nombre de plants ayant des capsules ouvertes (une seule capsule ouverte par plant suffisant) sur chaque ligne à partir du 90^{ième} JAL. Dès que ce nombre atteignait la moitié du nombre de plants d'une ligne cette observation était arrêtée. La dernière date d'observation était alors considérée comme la date moyenne de début d'ouverture des capsules de la parcelle élémentaire.

3.3.5 examen de la production à l'échelle de plants

Par parcelle élémentaire un tronçon de 4,5 mètres a été délimité sur une des lignes centrales. Pour chaque plant présent sur chaque tronçon on n'a observé que les premières positions de branches fructifères. Pour chaque position on a noté si elle était occupée par une capsule entièrement saine, un autre organe fructifère (bouton, fleur, capsule partiellement saine, pourrie ou momifiée sans précision) ou si aucun organe fructifère n'était porté³⁴.

3.3.6 rendement et stand

Le coton graine produit sur les 4 lignes centrales de chaque parcelle élémentaire a ensuite été récolté puis pesé. Parallèlement le nombre de plants présents sur ces lignes a été relevé.

4 Résultats

Comme le montre la figure 1, les infestations moyennes de chenilles de la capsule sont restées faibles dans cette étude (< 9 chenilles pour 100 plants). Trois pics d'infestations ont été notés : le premier au début de la deuxième décennie d'août, le second vers la mi-septembre et le troisième vers la mi-octobre. Au début de la campagne (avant le 72^{ième} JAL) les chenilles L1 et L2 sont souvent plus nombreuses que celles de stades de développement plus avancés (Figure 2). Par la suite il n'y a aucune différence entre ces deux catégories de

³³ Des études conduites en 2008 ont montré que des capsules ayant ce diamètre ne sont plus sujettes à une abscission

³⁴ Des études conduites en 2008 ont montré que cet examen simplifié de la production à l'échelle de plant rendait parfaitement compte des certaines caractéristiques de la production à l'échelle de plants entiers : taux de capsules entièrement saines, nombre de capsules entièrement saines et taux de rétention des organes fructifères.

chenilles (Figure 2). En conséquence, les interventions sur seuil accordant plus d'importance aux jeunes stades larvaires (programmes PSN1 et PSN2) ont été réalisées plutôt en début de campagne (avant le 79^{ième} JAL) et celles accordant plus d'importance aux stades âgés (programme PSN2) plutôt à partir du deuxième pic d'infestation (à la mi-septembre) comme le montre la figure 1. En raison de la faiblesse des infestations une seule intervention sur seuil a été réalisée en respectant les recommandations données au développement pour le programme actuel d'interventions sur seuil (PS). La plupart des interventions sur seuil réalisées en respectant les directives des nouveaux programmes d'interventions (78 % pour PSN1, 80 % pour PSN2 et 100 % pour PSN3) n'auraient jamais été réalisées si on avait conservé la règle en usage dans le programme actuel d'interventions sur seuil. Une seule parcelle a été traitée deux fois de suite à 7 jours d'intervalle : elle recevait le programme de protection PSN1.

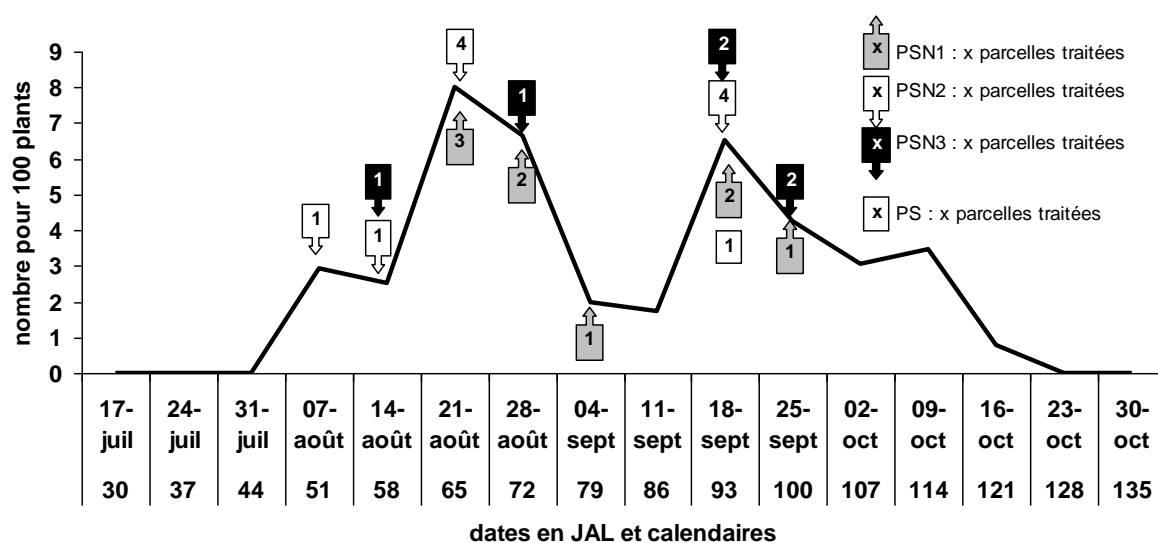


Figure 1 : dynamique moyenne des infestations de chenille de la capsule et positionnement des interventions sur seuil en fonction des programmes de protection

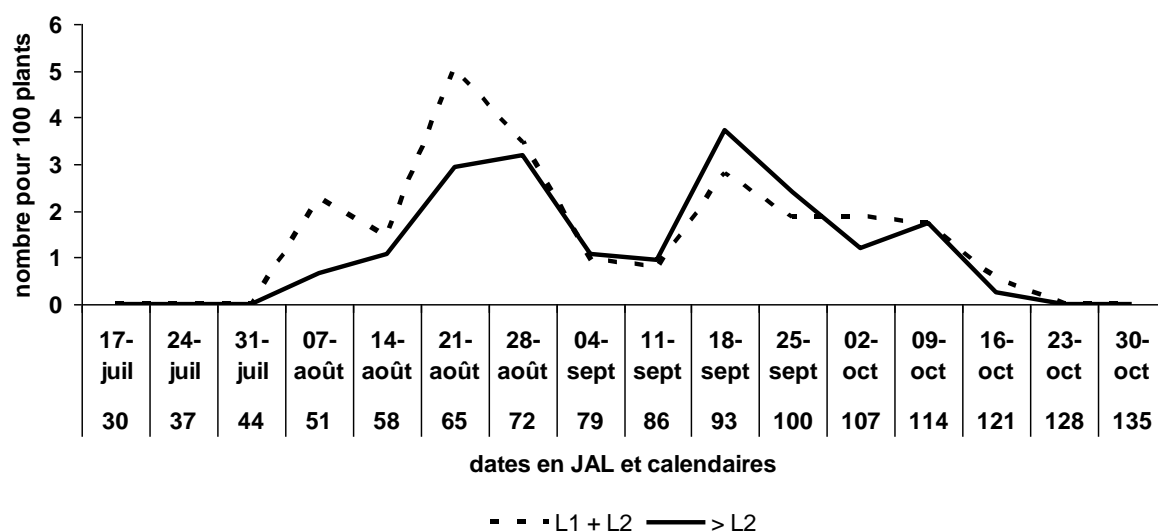


Figure 2 : dynamique moyenne des infestations de chenille de la capsule en fonction des stades larvaires considérés

Le nombre d'interventions sur seuil a été significativement plus élevé avec les nouveaux programmes de protection (PSN1, PSN2 et PSN3) qu'avec le programme actuel

d'interventions sur seuil (PS) comme le souligne le Tableau 2. Toutefois les économies en nombre d'applications insecticides par rapport au programme calendaire (PS) restent importantes : de 72 à 83 % selon les programmes, les plus fortes étant réalisées avec le programme PSN3 qui accorde plus d'importance aux stades larvaires les plus âgés. En termes de quantités d'insecticide utilisées le même constat peut dans l'ensemble être fait concernant les nouveaux programmes d'interventions sur seuil par rapport au programme actuel d'interventions sur seuil mais avec le programme PSN2 les économies d'insecticides par rapport au programme d'interventions calendaires (PS) sont les plus fortes parmi les nouveaux programmes (86 %). Même si les nouveaux programmes de protection semblent mieux contrôler les jeunes stades larvaires que le programme actuel d'interventions sur seuil (Tableau 2), ils n'en diffèrent pas pour le contrôle des stades larvaires plus âgés et pour l'ensemble des chenilles de la capsule tous stades larvaires confondus (Tableau 2). Le meilleur contrôle des chenilles de la capsule est toujours obtenu avec le programme d'interventions calendaires (PV).

Tableau 2 : nombre moyen d'applications insecticides, quantités moyennes d'insecticide utilisées et infestations moyennes de chenilles de la capsule en fonction des programmes de protection

	nombre d'applications par hectare	quantité d'insecticide en litres par hectare	nombre de chenilles pour 100 plants par observation		
			L1 + L2	> L3	cumul
PV	6,0 c	6,0 c	0,00 a	0,00 a	0,00 a
PS	0,2 a	0,2 a	2,29 c	1,75 b	3,96 b
PSN1	1,5 b	1,5 b	1,67 b	1,46 b	3,07 b
PSN2	1,7 b	0,8 b	1,54 b	1,42 b	2,92 b
PSN3	1,0 b	1,0 b	1,63 b	1,38 b	2,98 b
F programmes	94,09	147,24	37,95	10,28	112,54
signification en %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CV en %	27,8	24,9	23,7	43,7	13,0
transformation					Ln (x+1)

Dans les dénombrements de capsules sur cotonniers aucune différence n'est apparue entre les programmes de protection quelle que soit la date de l'observation (Tableau 3).

Tableau 3 : évolution de la charge en capsules de cotonniers en fonction des programmes de protection

en JAL	nombre de capsules pour 10 cotonniers à différentes dates						
	70	80	90	100	110	120	130
calendaire	26-août	05-sept	15-sept	25-sept	05-oct	15-oct	25-oct
PV	2,2	6,7	14,2	22,3	25,0	29,7	31,8
PS	1,3	5,5	11,5	18,8	23,5	29,5	32,2
PSN1	2,3	6,7	14,8	22,0	25,7	30,8	33,3
PSN2	1,2	5,5	11,5	19,8	23,5	28,5	30,8
PSN3	1,7	6,0	13,8	22,3	25,8	32,0	33,2
F programme	0,71	0,88	1,56	1,25	0,78	0,86	0,57
signification en %	59,8	49,5	22,4	32,1	55,3	50,7	69,4
CV en %	85,4	25,2	23,3	16,9	12,8	11,8	10,4

Aucune différence significative n'est apparue dans les densités de plantation à la récolte mais ces densités de plantation à la récolte sont loin de l'objectif fixé : de 46 % à 70 % de cet

objectif selon la méthode d'observation et le programme de protection. Aucune différence significative n'est également apparue entre les programmes de protection pour les nombres de branches fructifères par plant (Tableau 4).

Tableau 4 : effets des programmes de protection sur les densités de plantation à la récolte et sur le nombre de branches fructifères par plant

	densité de plantation (en plants/m ²)		nombre de branches fructifères par plant
	tronçon de ligne de 4,5 m	4 lignes centrales	
PV	5,6	3,9	16,9
PS	5,8	4,0	18,3
PSN1	5,7	3,9	15,1
PSN2	5,5	3,9	15,7
PSN3	5,0	3,8	16,0
F programme	1,16	0,17	1,32
signification en %	35,8	94,8	29,7
CV en %	12,3	9,1	16,3

L'examen détaillé de la production à l'échelle des plants ne montre pas des taux de rétention des organes fructifères très élevés sur les premières positions de branches fructifères (Figure 5) : ils sont toujours inférieurs à 55 %. Un effet des pluies tardives de cette campagne sur les taux moyens de rétention est très possible puisque ces taux moyens de rétention ne chutent pas régulièrement comme cela est habituellement observé (Figure 5). Pour cette caractéristique aucune différence significative n'est apparue entre les programmes de protection même si jusqu'à la troisième semaine de production d'organes fructifères les meilleurs résultats sont procurés par des interventions calendaires (Tableau 5).

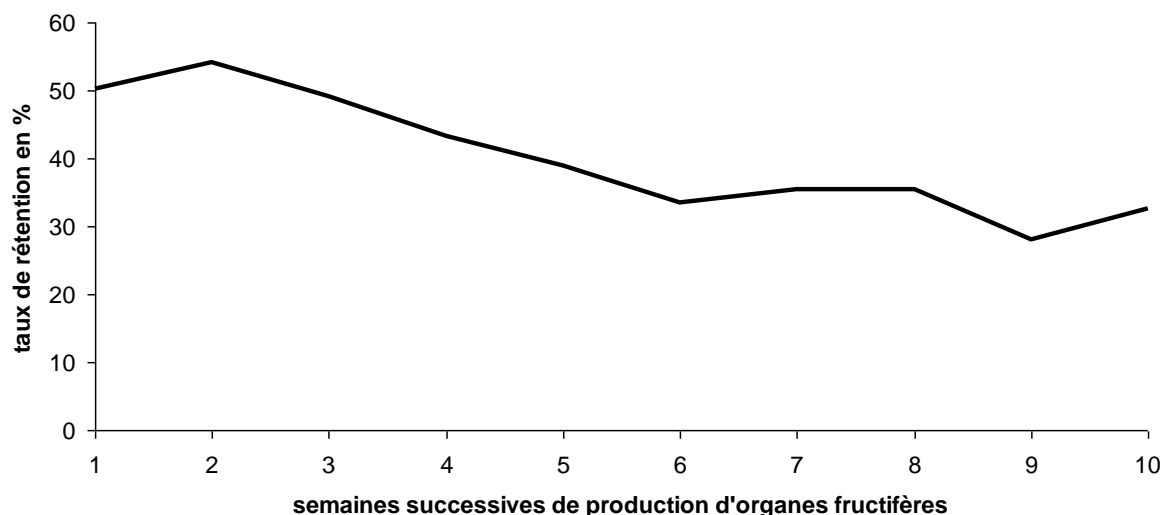


Tableau 5 : influence des programmes de protection sur les taux de rétention des organes fructifères produits en première position de branche fructifère sur l'ensemble de la campagne ou par semaine successive de production d'organes fructifères³⁵

	taux de rétention en % des organes fructifères produits							
	sur l'ensemble de la campagne	au cours de la première semaine	au cours de la deuxième semaine	au cours de la troisième semaine	au cours de la quatrième semaine	au cours de la cinquième semaine	au cours de la sixième semaine	au cours de la septième semaine
PV	46,5	59,1	57,2	53,8	45,2	33,8	32,8	23,7
PS	43,4	48,9	55,1	50,4	42,5	40,1	33,0	46,1
PSN1	40,4	46,8	54,1	41,8	33,6	30,8	23,1	29,0
PSN2	49,6	49,7	53,1	50,3	51,6	59,9	36,1	34,4
PSN3	40,6	47,5	52,4	49,3	40,1	29,7	27,6	15,8
F programme	0,67	0,96	0,11	0,73	0,90	2,19	0,41	0,79
Signification en %	62,2	45,2	97,3	58,6	48,3	10,7	80,0	54,8
CV en %	16,5	15,9	16,4	16,5	24,5	31,4	37,0	61,0
Transformation	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p

En moyenne 66,3 % des premières positions de branches fructifères occupées par un organe fructifère à la récolte le sont par des capsules entièrement saines (Tableau 6). Les taux moyens de capsules entièrement saines baissent lentement jusqu'à la 8^{ième} semaine de production d'organes fructifères puis chutent brutalement par la suite (Figure 6). Des différences significatives entre les programmes de protection pour les taux de capsules entièrement saines n'apparaissent qu'au niveau de la production d'organes fructifères de la deuxième semaine (Tableau 6) : les plus faibles performances sont alors notées pour le programme d'interventions calendaires et le programme actuel d'interventions sur seuil et elles sont significativement inférieures à celles obtenues par l'application du programme d'interventions sur seuil (PSN1).

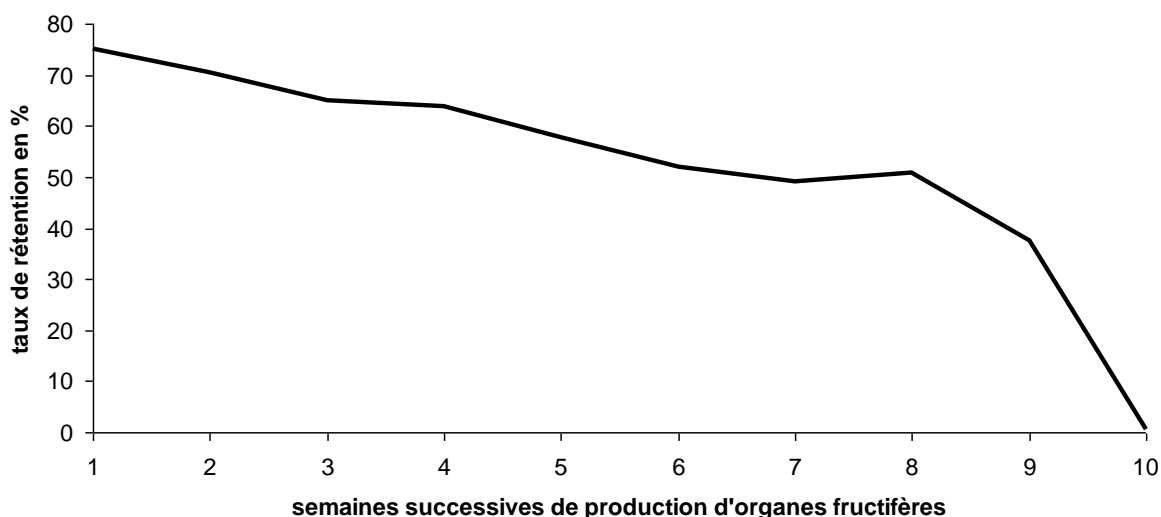


Figure 6 : taux moyen de capsules entièrement saines des organes fructifères retenus par semaine successive de production d'organes fructifères

³⁵ Au-delà de la 6^{ième} semaine de production d'organes fructifères les analyses statistiques n'ont pas pu être entreprises en raison du nombre de données parcellaires incalculables (absence de production de site fructifère)

Tableau 6 : taux de capsules entièrement saines pour les organes fructifères en première position de branche fructifère retenus sur l'ensemble de la campagne et par semaine de production d'organes fructifères en fonction des programmes de protection³⁶

	taux de capsules entièrement saines en % des organes fructifères en première position de branche fructifère retenus et produits					
	Sur l'ensemble de la campagne	au cours de la première semaine	au cours de la deuxième semaine	au cours de la troisième semaine	au cours de la quatrième semaine	au cours de la cinquième semaine
PV	64,9	74,8	61,1 b	66,3	60,7	63,7
PS	63,3	73,6	63,9 b	63,7	59,7	70,1
PSN1	69,2	84,0	80,8 a	68,6	66,6	42,2
PSN2	68,1	73,1	74,9 ab	64,2	72,6	62,9
PSN3	66,9	74,0	74,6 ab	64,7	63,1	51,0
F programme	0,54	0,93	4,20	0,15	0,53	2,72
signification en %	70,9	46,9	1,3	96,0	71,8	5,8
CV en %	8,8	13,5	10,9	14,2	20,0	19,5
transformation	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p

En terme de précocité de production mesurée par la date d'apparition la plus tardive des organes fructifères contribuant déjà à 50 %, 70 % et 90 % de la production totale de capsules entièrement saines en première position de branche fructifère aucune différence significatives n'apparaît entre les programmes de protection (Tableau 7).

Tableau 7 : date d'apparition (en JAL) la plus tardive des organes fructifères contribuant à 50 %, 70 % et 90 % de la production totale de capsules entièrement saines en première position de branche fructifère en fonction des programmes de protection

	date d'apparition (en JAL) la plus tardive des organes fructifères contribuant déjà à x % de la production totale de capsules entièrement saines des premières positions de branches fructifères		
	50 %	70 %	90 %
PV	48,3	57,5	69,2
PS	49,8	60,0	71,2
PSN1	45,9	53,1	65,1
PSN2	52,0	61,1	70,7
PSN3	49,0	57,4	68,3
F programme	0,80	1,12	0,45
signification en %	53,9	37,4	77,4
CV en %	12,5	12,4	12,8

Aucune différence significative n'est observée entre les programmes de protection pour la durée entre l'apparition du premier bouton floral et la date de la première ouverture de capsule (Tableau 8).

³⁶ seuls les résultats des trois premières semaines de production d'organes fructifères ont pu être analysés statistiquement

Tableau 8 : effet des programmes de protection sur la durée entre la date d'apparition du premier bouton floral et la date de première ouverture de capsule

	durée (en jours) entre la date d'apparition du premier bouton floral et la date de première ouverture de capsule 50 %
PV	92,2
PS	92,8
PSN1	91,8
PSN2	91,8
PSN3	92,8
F programme	0,96
signification en %	50,9
CV en %	1,4

Aucune différence significative n'est observée entre les programmes de protection dans les performances productives qu'ils permettent d'atteindre (Tableau 9). En raison de nombres plus faibles d'interventions insecticides, il n'est donc alors pas étonnant que sur la base d'un prix d'achat du coton graine de 170 F CFA/kg et d'un coût moyen d'une intervention insecticide de 8 107 F CFA/ha³⁷, les meilleurs produits diminués des coûts de protection sont significativement obtenus avec les programmes d'interventions sur seuil qui ne diffèrent pas entre eux pour cette caractéristique (Tableau 9).

Tableau 9 : rendement en coton graine et produit diminué des coûts de protection en fonction des programmes de protection

	rendement en kg de coton graine par hectare	produit diminué des coûts de protection en F CFA par hectare
PV	1021	124900 b
PS	1052	177503 a
PSN1	1216	194584 a
PSN2	1148	181723 a
PSN3	1122	182700 a
F programme	1,08	4,65
signification en %	39,3	0,8
CV en %	16,5	18,0

5 Discussions et conclusion

Tous les nouveaux programmes d'interventions sur seuil ont conduit à la réalisation d'un plus grand nombre d'interventions que le programme actuel d'interventions sur seuil. Mais ils n'ont été plus efficaces que ce dernier que sur les très jeunes stades larvaires et n'atteignent pas les performances des interventions calendaires. Cette meilleure efficacité sur ces jeunes stades larvaires ayant été observée avec le nouveau programme d'interventions sur seuil (PSN3), elle résulte donc probablement plus du nombre plus élevé d'applications insecticides que de la prise en compte différente des stades larvaires. Même si les performances de production de ces nouveaux programmes d'interventions sur seuil sont en

³⁷ pour l'année 2008, le coût de 8 107 F CFA/ha pour une intervention insecticide était décomposé en 4 507 F CFA d'achat d'un litre d'insecticide, 900 F CFA le coût des piles pour une application, 150 F CFA le coût de la main d'œuvre pour la réalisation d'une application et 2 550 F CFA le coût de l'amortissement et de l'entretien de l'appareil de traitement par application

moyenne de 10 % supérieures à celles du programme actuel d'interventions sur seuil, leurs performances économiques ne sont pas significativement meilleures, même en appliquant des demi-doses d'insecticides contre les jeunes stades larvaires (PSN2).

Même si les résultats de cette étude ne semblent pas très encourageants pour prendre en compte la composition en stades larvaires des infestations dans la définition des seuils d'intervention contre les chenilles de la capsule, il conviendrait de les confirmer au cours d'une deuxième campagne.

INTERET DE L'ECIMAGE RAISONNE DES COTONNIERS AVEC DES INTERVENTIONS SUR SEUIL

1 Justification

Dans de très nombreuses expérimentations l'écimage raisonné des cotonniers en cours de campagne a permis de réduire les infestations de chenilles de la capsule en fin de cycle. Par ailleurs avec des interventions calendaires son influence positive sur la production n'apparaissait plus fréquemment que si les taux de rétention des premiers organes fructifères formés étaient supérieurs à certaines valeurs (au minimum 64 % pour les premières positions des 10 premières branches fructifères) Il pourrait être intéressant de reprendre les études à propos de l'écimage raisonné des cotonniers en cours de campagne avec des approches phytosanitaires protégeant mieux les premiers organes fructifères formés comme le font certains nouveaux programmes d'interventions sur seuil.

2 Objectifs

Le principal objectif de cette étude a été d'évaluer l'intérêt d'un écimage raisonné des cotonniers avec une protection phytosanitaire sur seuil préservant mieux les premiers organes fructifères formés. Le second objectif fut de confirmer la réduction des infestations de chenilles carpophages en fin de campagne après la réalisation de cet écimage.

3 Matériels et méthodes

3.1 modalités étudiées, dispositif statistique, parcelle élémentaire

Dans un dispositif factoriel à 6 répétitions deux facteurs ont été étudiés. Le premier facteur concernait la protection phytosanitaire du cotonnier et comprenait trois modalités (Tableau 1). Le second facteur concernait l'écimage et comprenait deux modalités (Tableau 2). La parcelle élémentaire était de 64 m² (8 lignes de 10 mètres).

Tableau 1 : modalités de protection phytosanitaire

		seuil en nombre de chenilles/25 plants par période en JAL			
		avant 45	du 45 au 65	du 65 au 85	après 85
PV	interventions tous les 14 jours à partir du 45 ^{ième} JAL ³⁸	pas de seuil	pas de seuil	pas de seuil	pas de seuil
PS	interventions sur seuil à partir du 30 ^{ième} JAL	5	5	5	5
PSN1	interventions sur seuil à partir du 30 ^{ième} JAL	1	2	4	8

Tableau 2 : modalités d'écimage

NE	cotonniers non écimés
E	cotonniers écimés 10 jours après l'apparition de la première fleur

³⁸ Jour Après la Levée

Pour les interventions avant le 72^{ième} JAL une alternative aux pyréthrinoïdes³⁹ a été utilisée. Elle fut par la suite remplacée par une association d'un pyréthrinoïde à une autre matière active⁴⁰. Seules les six lignes centrales de chaque parcelle élémentaire étaient concernées par les applications insecticides.

3.2 conditions de culture

L'étude a été implantée le 14 juin avec des semences de la variété STAM 59A. Au préalable le site d'implantation a reçu 5 tonnes de fumier par hectare en raison de la faible fertilité des sols de la sous station de Farako. En dehors de la protection insecticide, toutes les recommandations de la recherche ont été appliquées : densité de plantation de 8,3 plants/m² (interligne de 0,8 mètre, inter poquet de 0,3 mètre et démariage à 2 plants/poquets), contrôle de l'enherbement par sarclages manuels (réalisés au 18^{ième} JAL, 31^{ième} JAL, 44^{ième} JAL et 57^{ième} JAL), fertilisation minérale composée de 200 kg/ha d'engrais complet apporté au 18^{ième} JAL et de 50 kg/ha d'urée épandue au 31^{ième} JAL et buttage au 58^{ième} JAL.

3.3 observations

3.3.1 date d'apparition du premier bouton floral

Cette observation a été effectuée sur tous les plants d'une des lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. On y a compté quotidiennement le nombre de plants ayant des squares (très jeunes boutons floraux) à partir du 25^{ième} JAL. Dès que ce nombre atteignait la moitié du nombre de plants d'une ligne l'observation était arrêtée sur cette ligne. La dernière date d'observation par ligne était alors considérée comme la date moyenne d'apparition du premier square au niveau de cette parcelle élémentaire.

3.3.2 date d'apparition de la première fleur

Cette observation a été effectuée sur tous les plants d'une des lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. On y a compté quotidiennement le nombre de plants ayant des fleurs épanouies (fleurs blanches) à partir du 50^{ième} JAL. Dès que ce nombre atteignait la moitié du nombre de plants d'une ligne l'observation était arrêtée sur cette ligne. La dernière date d'observation par ligne était alors considérée comme la date moyenne d'apparition de la première fleur au niveau de cette parcelle élémentaire.

3.3.3 chenilles de la capsule

Du 30^{ième} au 135^{ième} JAL, les chenilles de la capsule ont été dénombrées une fois par semaine sur 25 plants répartis sur les deux lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. Les enregistrements ont distingué les trois espèces principales : *H. armigera*, *D. watersi* et *Earias* spp⁴¹.

3.3.4 dénombrement de capsules

Au 70^{ième}, 80^{ième}, 90^{ième}, 100^{ième}, 110^{ième}, 120^{ième} et 130^{ième} JAL, on a observé 10 plants par parcelle élémentaire. Pour chaque plant on a relevé le nombre de capsules portées ayant un

³⁹ Avaunt® (indoxacarbe 150g/l) utilisé à 0,16 litre/ha

⁴⁰ CAPT 88EC® (cyperméthrine- acétaméprid 72-16) utilisée à 0,5 litre/ha

⁴¹ deux espèces du genre *Earias* sont présentes au Mali : *E. biplaga* (Walker) et *E. insulana* (Boisduval)

diamètre supérieur à celui d'une pièce de 25 F CFA⁴². Les plants observés ne changeaient pas du début à la fin de la campagne

3.3.5 date de début d'ouverture des capsules

Cette observation a été réalisée sur tous les plants d'une des lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. On y a compté tous les deux jours le nombre de plants ayant des capsules ouvertes (une seule capsule ouverte par plant suffisant) sur chaque ligne à partir du 90^{ième} JAL. Dès que ce nombre atteignait la moitié du nombre de plants d'une ligne cette observation était arrêtée. La dernière date d'observation était alors considérée comme la date moyenne de début d'ouverture des capsules de la parcelle élémentaire.

3.3.6 examen de la production à l'échelle de plants

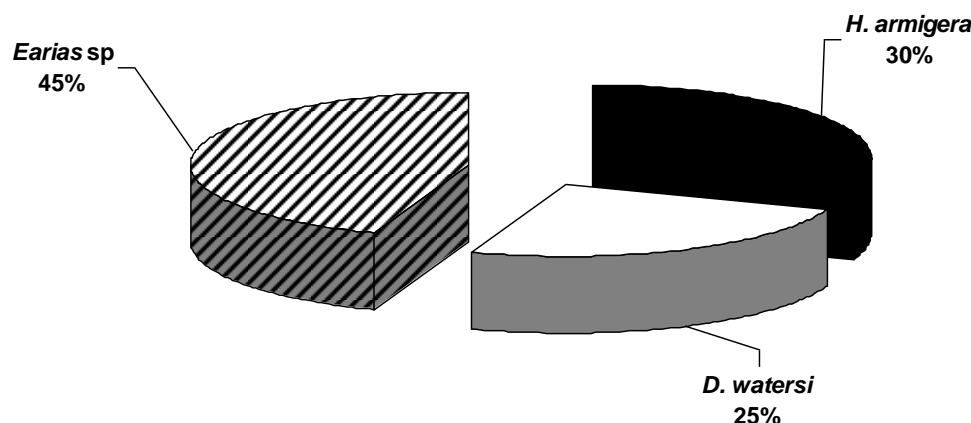
Par parcelle élémentaire un tronçon de 4,5 mètres a été délimité sur une des lignes centrales. Pour chaque plant présent sur chaque tronçon on n'a observé que les premières positions de branches fructifères. Pour chaque position on a noté si elle était occupée par une capsule entièrement saine, un autre organe fructifère (bouton, fleur, capsule partiellement saine, pourrie ou momifiée sans précision) ou si aucun organe fructifère n'était porté⁴³.

3.3.7 rendement et stand

Le coton graine produit sur les 4 lignes centrales de chaque parcelle élémentaire a ensuite été récolté puis pesé. Parallèlement le nombre de plants présents sur ces lignes a été relevé.

4 Résultats

Pour les parcelles concernées par cette opération, l'écimage des cotonniers a été réalisé entre le 25 et le 30 août (soit entre 72^{ième} et le 77^{ième} JAL). Le complexe des chenilles de la capsule a été dominé par *Earias* spp sur l'ensemble de la campagne (Figure 1).



⁴² Des études conduites en 2008 ont montré que des capsules ayant ce diamètre ne sont plus sujettes à une abscission

⁴³ Des études conduites en 2008 ont montré que cet examen simplifié de la production à l'échelle de plant rendait parfaitement compte des certaines caractéristiques de la production à l'échelle de plants entiers : taux de capsules entièrement saines, nombre de capsules entièrement saines et taux de rétention des organes fructifères.

Figure 1 : Importances relatives des différentes espèces de chenilles de la capsule sur l'ensemble de la campagne

Cette prédominance d'*Earias* spp s'est manifestée presque tout au long de la campagne mais plus particulièrement au début de la campagne (avant le 65^{ième} JAL) comme le montre la figure 2.

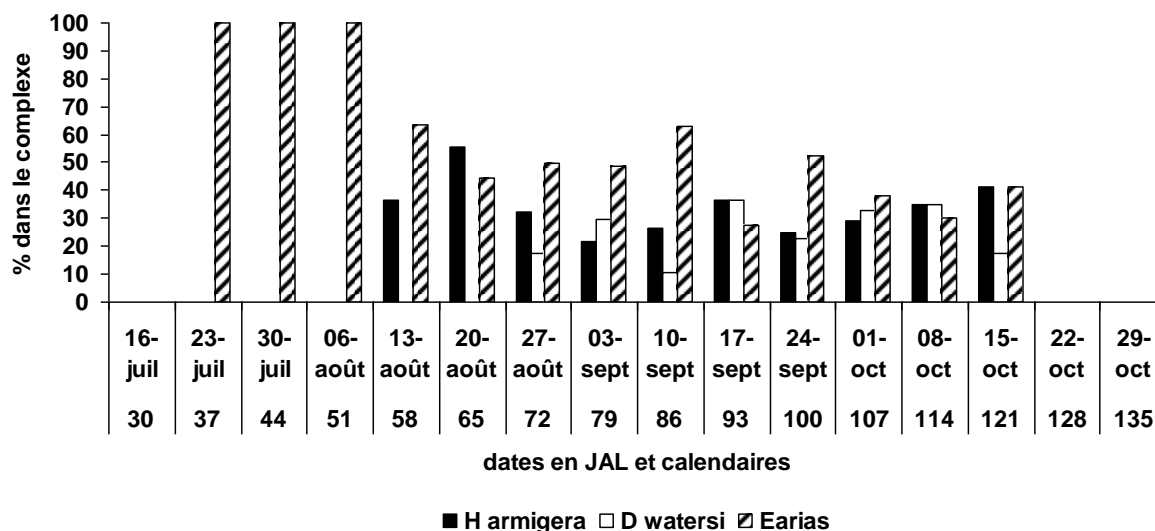


Figure 2 : évolution moyenne de l'importance relative des espèces de chenilles de la capsule pendant la campagne

Les infestations moyennes de chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) n'ont jamais été très élevées (< 7 chenilles pour 100 plants) comme le montre la figure 3. Deux pics d'infestations sont apparus : au début septembre et au début octobre (Figure 3). En raison de ces faibles infestations peu d'interventions sur seuil furent réalisées. Elles furent plus nombreuses et plus précoces avec le nouveau programme PSN1. (Figure 3) qu'avec le programme actuel d'interventions sur seuil (PS). Toutefois les nombres moyens d'interventions de ces deux programmes ne diffèrent pas statistiquement procurant respectivement 91 et 97 % d'économies d'insecticide par rapport au programme d'interventions calendaires (Tableaux 2 à 4).

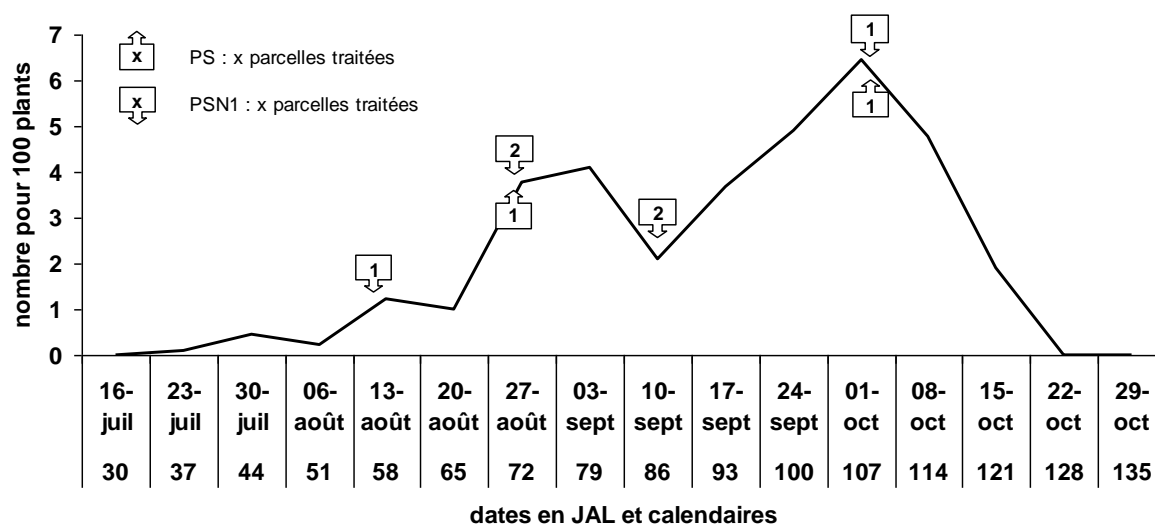


Figure 3 : Dynamique moyenne des infestations de chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) et positionnement des interventions sur seuil en fonction des programmes de protection

Avant l'écimage des cotonniers deux applications calendaires ayant été réalisées sur les parcelles devant les recevoir (PV), on y a dénombré significativement moins de chenilles de la capsule que dans les parcelles recevant des interventions sur seuil qui furent d'ailleurs très peu nombreuses (Tableau 3). Les deux programmes d'interventions sur seuil ne diffèrent significativement que pour le contrôle des infestations d'*Earias* sp, la modulation des seuils semblant préférable. En dehors des infestations de *D. watersi* on ne note fort logiquement pas d'effet de l'écimage sur les infestations de chenilles de la capsule ni d'interaction significative entre cette pratique et les programmes de protection au niveau de toutes les infestations. Les chenilles de *D. watersi* ne sont observées qu'à une seule date pendant cette période : le 27 août soit 2 jours après l'écimage de certaines parcelles (5 parcelles sur 18) et il peut ne pas être surprenant de noter un effet de cette pratique.

Tableau 3 : nombre d'applications insecticides par hectare et infestations de chenilles de la capsule avant l'écimage des cotonniers en fonction des modalités de l'étude

	nombre de traitements	nombre de chenilles pour 100 plants par observation			
		H armigera	D watersi	Earias	cumul
PV	2,0 b	0,00 a	0,00 a	0,04 a	0,05 a
PS	0,0 a	0,66 b	0,24 b	1,15 c	2,24 b
PSN1	0,1 a	0,16 b	0,05 b	0,34 b	0,62 b
F programmes	553,00	16,37	7,29	27,40	29,63
signification en %	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0
non écimé	0,7	0,20	0,16 b	0,43	0,95
écimé	0,8	0,29	0,03 a	0,45	0,98
F écimage	1	0,85	5,6	0,1	0,0
signification en %	32,8	36,8	2,5	81,8	89,2
F interaction programme écimage	1	0,85	2,4	1,1	0,1
signification en %	38,4	44,2	10,7	36,4	93,3
CV en %	24,0	101,7	169,7	67,2	74,7
Transformation		ln (x+1)		ln (x+1)	

Après l'écimage des cotonniers, les infestations de chenilles de la capsule sont toujours significativement mieux contrôlées avec des applications calendaires (PV) qu'avec des interventions sur seuil (Tableau 4). En moyenne les efficacités des deux programmes d'interventions sur seuil ne diffèrent pas significativement (Tableau 4). Indépendamment du programme de protection et quelle que soit l'espèce (donc également pour l'ensemble des chenilles de la capsule) les infestations sont plus faibles lorsque les cotonniers ont été écimés (Tableau 4), les différences avec les cotonniers non écimés étant hautement significatives. Quelle que soit l'espèce (donc également pour l'ensemble des chenilles de la capsule) des interactions hautement significatives sont observées entre l'écimage et les programmes de protection (Tableau 4). Ces interactions significatives indiquent que lorsque les cotonniers sont écimés le contrôle des infestations de chenilles de la capsule toutes espèces confondues a été meilleur avec des interventions sur seuil modulé en cours de campagne (PSN1) qu'avec des interventions sur seuil respectant le programme actuellement diffusé (PS) alors que l'inverse est observé lorsque les cotonniers ne sont pas écimés (Tableau 4).

Sur l'ensemble de la campagne, les mêmes effets que ceux décrits après l'écimage sont notés à propos des programmes de protection, de l'écimage et de l'interaction entre ces deux pratiques (Tableau 5). Cependant il faut noter que la meilleure efficacité du programme

d'interventions sur seuil modulé en cours de campagne (PSN1) par rapport au programme actuel d'interventions sur seuil (PS) lorsque les cotonniers sont écimés apparaît plus nettement en particulier vis-à-vis d'*H. armigera* et d'*Earias* (Tableau 5). Par contre sur l'ensemble de la campagne et quelle que soit l'espèce il n'y a pas de différence d'efficacité entre les deux programmes d'interventions sur seuil lorsque les cotonniers ne sont pas écimés.

Tableau 4 : nombre d'applications insecticides et infestations de chenilles de la capsule après l'écimage des cotonniers en fonction des modalités de l'étude

	Nombre de traitements	nombre de chenilles pour 100 plants par observation			
		H armigera	D watersi	Earias	cumul
PV	4,0 b	0,04 a	0,00 a	0,03 a	0,06 a
PS	0,2 a	1,37 b	1,11 b	1,47 b	4,04 b
PSN1	0,3 a	1,37 b	1,09 b	1,49 b	4,14 b
F programmes	372,37	35,18	28,52	35,97	78,04
signification en %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
non écimé	1,7 b	1,46 b	1,04 b	1,53 b	4,11 b
écimé	1,4 a	0,40 a	0,32 a	0,35 a	1,06 a
F écimage	4,70	50,19	22,62	40,93	79,84
signification en %	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0
PV non écimé	4,0	0,07 a	0,00 a	0,06 a	0,13 a
PS non écimé	0,3	2,00 c	1,57 c	2,34 c	6,02 d
PSN1 non écimé	0,7	2,30 c	2,32 c	3,56 c	8,42 e
PV écimé	4,0	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
PS écimé	0,2	0,74 b	0,73 b	0,83 b	2,39 c
PSN1 écimé	0,0	0,44 ab	0,31 ab	0,36 ab	1,14 b
F interaction programme écimage	2,44	12,16	8,38	11,55	23,27
signification en %	10,5	0,0	0,2	0,0	0,0
CV en %	25,2	48,6	56,2	47,5	15,0
Transformation			ln (x+1)	ln (x+1)	$\sqrt{x+1}$

Tableau 5 : nombre d'applications insecticides et infestations de chenilles de la capsule pendant toute la campagne en fonction des modalités de l'étude

	nombre de traitements	nombre de chenilles pour 100 plants par observation			
		H armigera	D watersi	Earias	cumul
PV	6,0 b	0,02 a	0,00 a	0,04 a	0,05 a
PS	0,2 a	1,05 c	0,75 b	1,41 b	3,20 c
PSN1	0,4 a	0,74 b	0,68 b	1,12 b	2,39 b
F programmes	932,84	55,17	30,87	64,20	172,97
signification en %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
non écimé	2,3	0,79 b	0,69 b	1,12 b	2,25 b
écimé	2,1	0,32 a	0,21 a	0,44 a	0,87 a
F écimage	3,23	28,16	27,62	35,26	71,50
signification en %	14,98,1	0,0	0,0	0,0	0,0
PV non écimé	6,0	0,04 a	0,00 a	0,04 a	0,07 a
PS non écimé	0,3	1,35 d	1,06 c	1,92 d	4,38 d
PSN1 non écimé	0,7	1,35 d	1,37 c	2,14 d	4,97 d
PV écimé	6,0	0,00 a	0,00 a	0,04 a	0,04 a
PS écimé	0,2	0,79 c	0,48 b	0,99 c	2,28 c
PSN1 écimé	0,2	0,29 b	0,19ab	0,44 b	0,92 b
F interaction programme écimage	1,41	8,08	9,50	11,87	23,92
signification en %	26,2	0,2	0,1	0,0	0,0
CV en %	16,7	39,6	54,1	35,3	21,7
Transformation		$\ln (x+1)$	$\ln (x+1)$	$\ln (x+1)$	$\ln (x+1)$

L'effet significatif de l'écimage sur les infestations de chenilles de la capsule se manifeste encore longtemps après la réalisation de cette pratique comme le montre les figures 4 à 7.

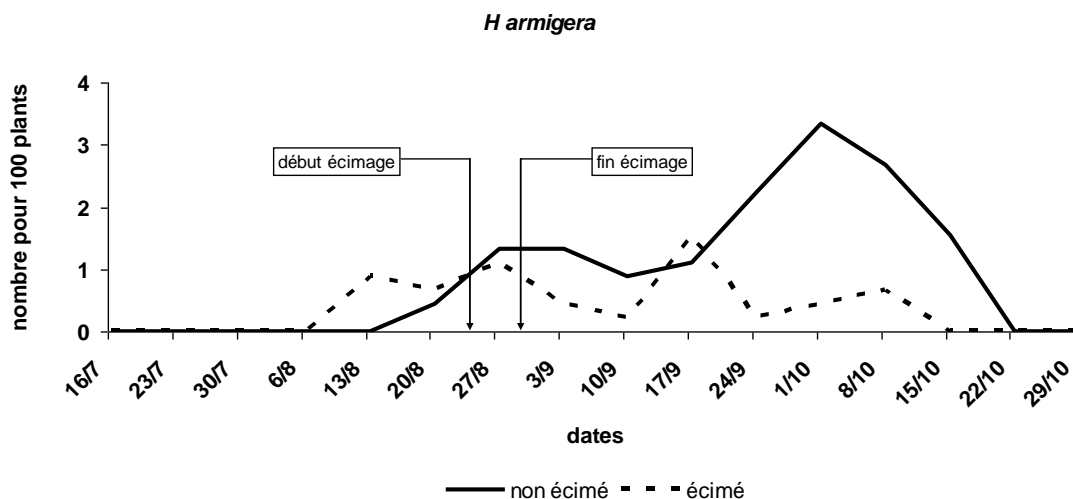


Figure 4 : effet de l'écimage des cotonniers sur la dynamique des infestations d'*H. armigera*

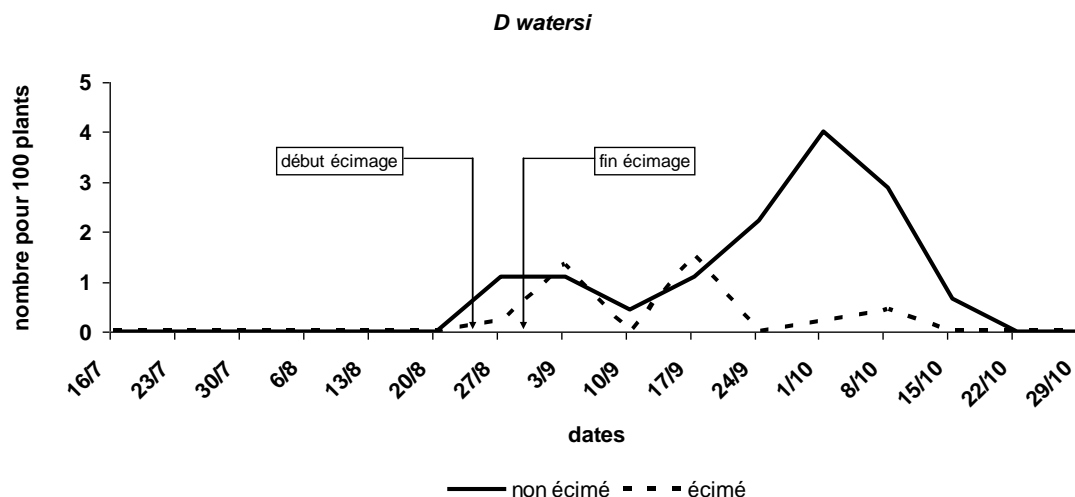


Figure 5 : effet de l'écimage des cotonniers sur la dynamique des infestations de *D. watersi*

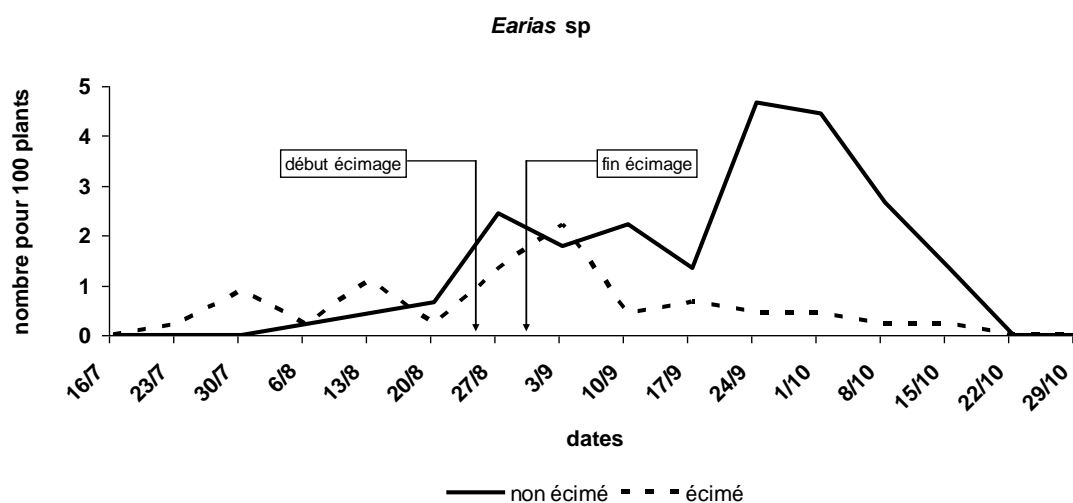


Figure 6 : effet de l'écimage des cotonniers sur la dynamique des infestations d' *Earias sp*

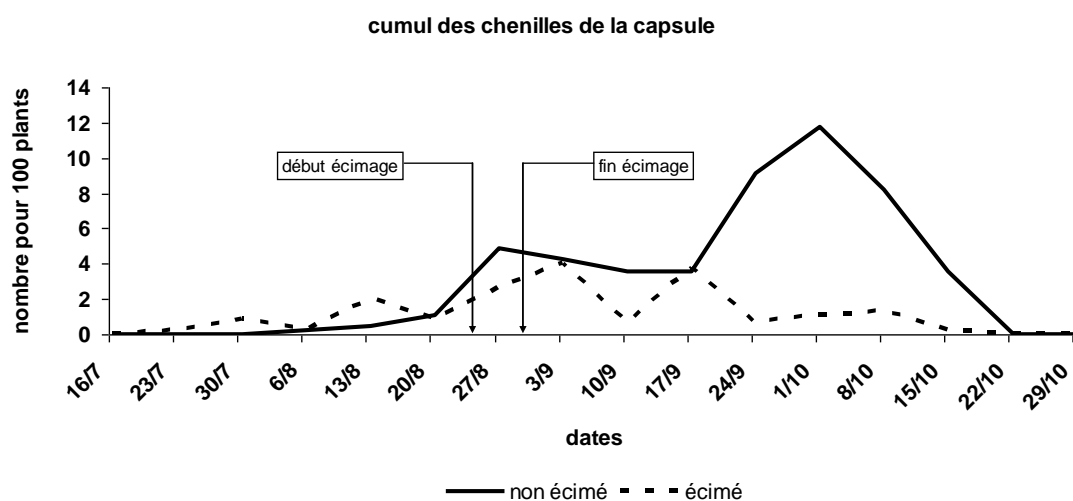


Figure 7 : effet de l'écimage des cotonniers sur la dynamique des infestations de chenilles de la capsule (toutes espèces confondues)

Dans les dénombrements de capsules sur cotonniers on note aucun effet des facteurs étudiés ni d'interaction significative entre ces deux facteurs quelle que soit la date de l'observation (Tableau 6). La charge moyenne des cotonniers en capsules est par ailleurs toujours croissante du 70^{ième} au 130^{ième} JAL (Figure 8).

Tableau 6 : évolution de la charge en capsules de cotonniers en fonction des modalités de l'étude

en JAL	nombre de capsules sur 10 cotonniers						
	70	80	90	100	110	120	130
Calendaire	25-août	04-sept	14-sept	24-sept	04-oct	14-oct	24-oct
PV	5,8	10,2	18,8	24,0	31,3	35,1	40,8
PS	5,4	10,1	17,3	23,1	28,8	33,1	38,6
PSN1	4,9	9,1	17,3	24,6	30,4	34,9	39,8
F programmes	0,41	0,603	1,093	0,912	1,862	1,15	1,006
signification en %	67,3	56,0	35,2	41,7	17,5	33,4	38,2
non écimé	5,7	9,9	18,4	23,9	29,8	34,2	39,3
Ecimé	5,1	9,6	17,1	23,8	30,5	34,6	40,1
F écimage	0,451	0,138	2,108	0,015	0,45	0,106	0,386
signification en %	51,5	71,4	15,6	90,0	51,5	74,6	54,7
F interaction programme écimage	2,7	1,5	1,7	1,5	1,3	0,6	0,1
signification en %	8,3	25,0	20,7	24,9	28,5	57,3	87,7
CV en %	46,1	27,5	16,2	11,5	10,7	10,4	9,5

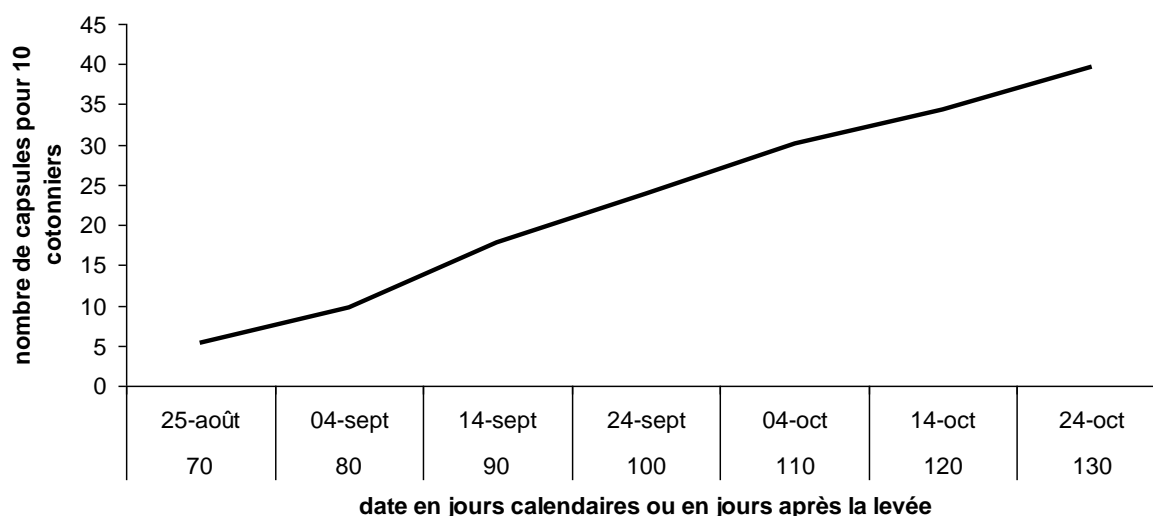


Figure 8 : évolution moyenne de la charge en capsules de 10 cotonniers

Aucune influence significative des deux facteurs étudiés n'est apparue dans les densités de plantation à la récolte et si l'interaction entre ces deux facteurs est significative pour cette caractéristique mesurée à partir de tronçons de 4,5 mètres le test de Newman Keuls à 5 % ne permet pas de différencier les modalités croisant les deux facteurs (Tableau 7). Par ailleurs, ces densités de plantation à la récolte sont loin de l'objectif fixé : de 53 % à 64 % de l'objectif selon la méthode d'observation et les différentes modalités croisant les deux facteurs. Au niveau du nombre de branches fructifères par plant on ne note d'effet significatif que pour l'écimage qui le réduit fort logiquement (Tableau 7).

Tableau 7 : effets des programmes de protection, de l'écimage et de l'interaction entre ces deux facteurs sur les densités de plantation à la récolte et sur le nombre de branches fructifères par plant

	densité de plantation (en plants/m ²)		nombre de branches fructifères par plant
	tronçon de ligne de 4,5 m	4 lignes centrales	
PV	4,7	4,8	12,7
PS	4,9	5,0	13,2
PSN1	5,0	5,0	13,1
F programmes	0,48	0,29	0,44
signification en %	63,1	75,8	65,5
non écimé	4,8	4,8	15,1 a
écimé	5,0	5,0	10,9 b
F écimage	0,43	2,14	75,66
signification en %	52,6	15,3	0,0
PV non écimé	4,4 a	4,8	14,7
PS non écimé	5,3 a	4,8	15,2
PSN1 non écimé	4,6 a	4,8	15,4
PV écimé	5,0 a	4,9	10,7
PS écimé	4,5 a	5,1	11,2
PSN1 écimé	5,4 a	5,1	10,7
F interaction programme écimage	4,42	0,29	0,18
signification en %	2,2	75,7	83,6
CV en %	14,5	9,9	11,3

L'examen détaillé de la production à l'échelle des plants ne montre pas des taux de rétention des organes fructifères très élevés sur les premières positions de branches fructifères (Figure 9) : en moyenne ils sont toujours inférieurs à 60 %. Un effet des pluies tardives de cette campagne sur les taux moyens de rétention est très possible puisqu'ils ne chutent pas régulièrement à partir de la 6^{ième} semaine de production d'organes fructifères comme cela est habituellement observé (Figure 9). Pour cette caractéristique on note un effet positif de l'écimage sur l'ensemble des organes fructifères produits en première position de branche fructifère mais cet effet ne se manifeste pas sur les productions d'organes fructifères des quatre premières semaines de production d'organes fructifères (Tableau 8). On note également un effet positif du programme d'interventions calendaires pour les productions d'organes fructifères de la 3^{ième} et la 4^{ième} semaine de production d'organes fructifères (Tableau 8). Enfin aucune interaction significative n'est apparue entre les deux facteurs étudiés (Tableau 8).

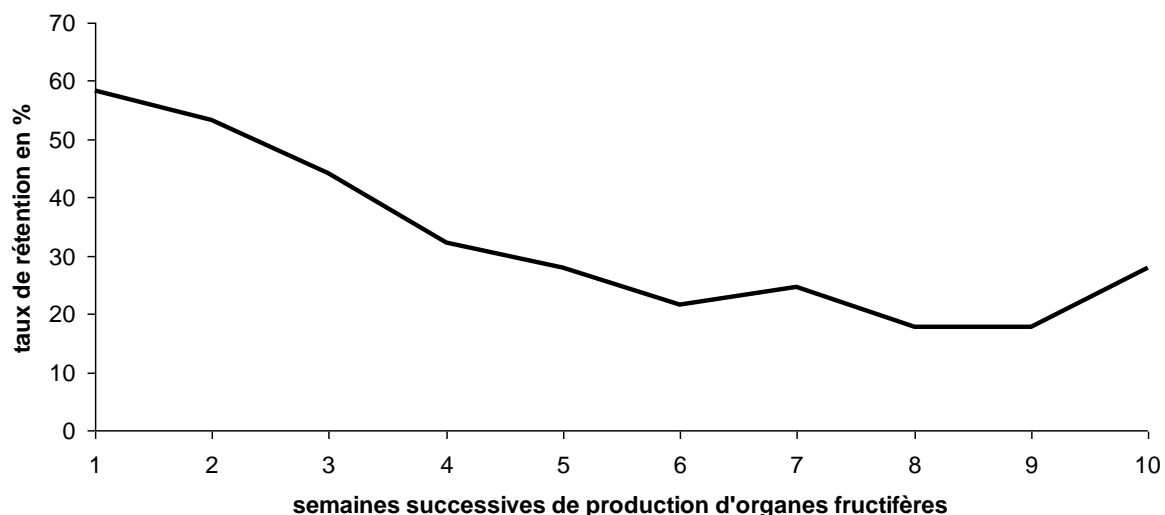


Figure 9 : taux moyen de rétention des organes fructifères produits en première position de branche fructifère par semaine successive de production d'organes fructifères

Tableau 8 : influence des programmes de protection, de l'écimage et de l'interaction entre ces deux facteurs sur les taux de rétention des organes fructifères produits en première position de branche fructifère sur l'ensemble de la campagne ou par semaine successive de production d'organes fructifères⁴⁴

	taux de rétention en % des organes fructifères produits				
	sur l'ensemble de la campagne	au cours de la première semaine	au cours de la deuxième semaine	au cours de la troisième semaine	au cours de la quatrième semaine
PV	46,0	56,3	55,2	48,6 a	41,1 a
PS	41,4	60,2	52,7	44,4 ab	25,6 b
PSN1	40,9	58,8	52,2	38,9 b	27,9 b
F programmes	1,61	0,38	0,28	3,46	5,25
signification en %	22,0	69,0	75,9	4,6	1,2
non écimé	38,7 b	57,7	51,0	42,4	30,2
Ecimé	46,9 a	59,1	55,7	45,5	32,6
F écimage	10,30	0,14	1,68	1,02	0,32
signification en %	0,4	71,0	20,4	32,4	58,3
F interaction programme écimage	1,55	0,73	2,92	0,63	0,33
signification en %	23,2	49,7	7,1	54,8	72,8
CV en %	10,9	12,9	13,0	12,6	22,7
Transformation	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	Arcsin√p

En moyenne 70,6 % des premières positions de branches fructifères occupées par un organe fructifère à la récolte le sont par des capsules entièrement saines (Tableau 9). Les taux moyens de capsules entièrement saines chutent relativement régulièrement de la première à la dernière semaine de production d'organes fructifères (Figure 10). Sur l'ensemble des organes retenus au cours de la campagne les taux de capsules entièrement saines sont significativement plus élevés lorsque les cotonniers sont écimés mais cela ne se manifeste pas sur les productions des quatre premières semaines (Tableau 9). L'effet positif

⁴⁴ Au-delà de la 4^{ième} semaine de production d'organes fructifères les analyses statistiques n'ont pas pu être entreprises en raison du nombre de données parcellaires incalculables (absence de production de site fructifère)

et significatif du programme d'interventions calendaires n'est observé que sur les organes fructifères produits et retenus au cours de la 3^{ème} semaine de production d'organes fructifères (Tableau 9). Enfin le test de Newman Keuls à 5 % ne permet pas de différencier les modalités croisant ces deux facteurs pour cette caractéristique concernant la 2^{ème} semaine de production d'organes fructifères même si l'interaction est significative. Par contre il les différencie mieux pour les productions de la semaine suivante mais uniquement si les cotonniers sont écimés : les meilleurs résultats étant obtenus avec le programme d'interventions calendaires (Tableau 9).

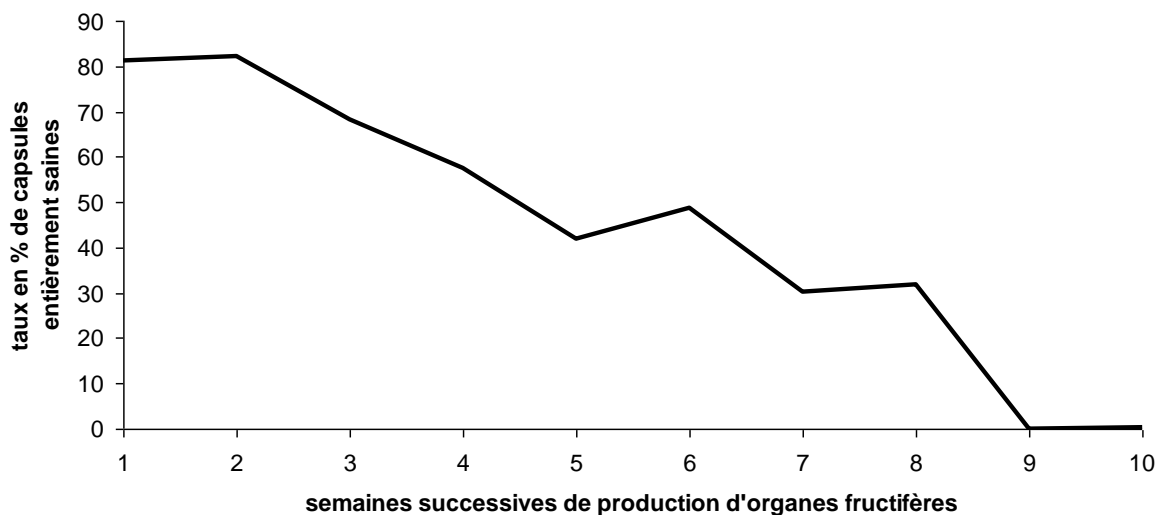


Figure 10 : taux moyen de capsules entièrement saines des organes fructifères retenus par semaine successive de production d'organes fructifères

Tableau 9 : influence des programmes de protection, de l'écimage et de l'interaction entre ces deux facteurs sur les taux de capsules entièrement saines pour les organes fructifères en première position de branche fructifère retenus sur l'ensemble de la campagne et par semaine de production d'organes fructifères⁴⁵

	taux de capsules entièrement saines en % des organes fructifères en première position de branche fructifère retenus et produits				
	sur l'ensemble de la campagne	au cours de la première semaine	au cours de la deuxième semaine	au cours de la troisième semaine	au cours de la quatrième semaine
PV	72,5	81,7	84,8	78,9 a	66,6
PS	68,3	81,2	86,2	63,5 b	42,3
PSN1	72,5	84,2	83,4	66,4 b	64,6
F programmes	1,37	0,41	0,27	6,18	2,40
signification en %	27,2	67,1	76,9	0,7	11,0
non écimé	68,1 b	83,6	85,5	70,3	56,0
écimé	74,0 a	81,1	84,1	69,4	60,0
F écimage	6,18	0,70	0,18	0,05	0,16
signification en %	1,9	41,5	67,9	81,4	69,2
PV non écimé	67,4	83,2	90,7 a	72,7 ab	49,4
PS non écimé	69,0	85,2	88,1 a	68,6 ab	55,7
PSN1 non écimé	67,8	82,2	76,2 a	69,6 ab	62,6
PV écimé	77,3	80,1	77,8 a	84,5 a	81,9
PS écimé	67,5	76,8	84,2 a	58,2 b	29,5
PSN1 écimé	77,0	86,0	89,5 a	63,2 b	66,6
F interaction programme écimage	2,42	1,48	5,67	3,40	3,09
signification en %	10,8	24,6	0,9	4,8	6,2
CV en %	7,9	10,0	11,3	12,9	35,3
Transformation	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	Arcsin√p

En terme de précocité de production mesurée par la date d'apparition la plus tardive des organes fructifères contribuant déjà à 50 %, 70 % et 90 % de la production totale de capsules entièrement saines en première position de branche fructifère le seul effet positif apparu est celui de l'écimage qui n'est toutefois significatif que lorsque l'on considère 90 % de la production totale de capsules entièrement saines en première position de branche fructifères (Tableau 10).

⁴⁵ seuls les résultats des quatre premières semaines de production d'organes fructifères ont pu être analysés statistiquement

Tableau 10 : date d'apparition (en JAL) la plus tardive des organes fructifères contribuant déjà à 50 %, 70 % et 90 % de la production totale de capsules entièrement saines en première position de branche fructifère en fonction des programmes de protection, de l'écimage et de l'interaction entre ces deux facteurs

	date d'apparition (en JAL) la plus tardive des organes fructifères contribuant déjà à x % de la production totale de capsules entièrement saines des premières positions de branches fructifères		
	50 %	70 %	90 %
F programmes	0,77	0,76	1,98
signification en %	47,8	48,4	15,7
non écimé	44,5	51,6	61,3 b
écimé	43,2	49,6	57,2 a
F écimage	0,63	3,02	8,18
signification en %	44,1	9,1	0,8
F interaction programme écimage	0,73	1,07	1,28
signification en %	49,4	35,9	29,5
CV en %	10,5	7,0	7,4

Toutefois cette précocité de production due à l'écimage n'est pas liée à un raccourcissement de la durée de développement des organes fructifères au moins pour les premiers organes fructifères apparus (Tableau 11).

Tableau 11 : durée de développement des premiers organes fructifères en fonction des modalités étudiées

	durée de développement en jours		
	entre square et fleur	entre fleur et ouverture	entre square et ouverture
F programmes	1,48	2,37	1,38
signification en %	24,8	11,4	27,0
non écimé	29,5	58,6	90,4
écimé	30,3	60,1	90,4
F écimage	0,95	0,96	0,00
signification en %	34,3	33,9	99,0
F interaction programme écimage	0,09	1,64	2,18
signification en %	91,5	21,4	13,4
CV en %	8,6	7,9	3,0

Aucun effet significatif des facteurs étudiés et de leur interaction n'est apparu dans les performances productives (Tableau 12). Par contre en raison de nombres plus faibles d'interventions insecticides, il n'est donc pas étonnant que sur la base d'un prix d'achat du coton graine de 170 F CFA/kg et d'un coût moyen d'une intervention insecticide de 8 107 F CFA/ha⁴⁶, les meilleurs produits diminués des coûts de protection soient obtenus avec les programmes d'interventions sur seuil sans qu'ils diffèrent entre eux (Tableau 12). Toutefois

⁴⁶ pour l'année 2008, le coût de 8 107 F CFA/ha pour une intervention insecticide était décomposé en 4 507 F CFA d'achat d'un litre d'insecticide, 900 F CFA le coût des piles pour une application, 150 F CFA le coût de la main d'œuvre pour la réalisation d'une application et 2 550 F CFA le coût de l'amortissement et de l'entretien de l'appareil de traitement par application

seuls ceux procurés par le programme d'interventions sur seuil PSN1 sont significativement supérieurs à ceux du programme d'interventions calendaires

Tableau 12 : rendement en coton graine et produit diminué des coûts de protection en fonction des programmes de protection, de l'écimage et de l'interaction entre ces deux facteurs

	rendement en kg de coton graine par hectare	produit diminué des coûts de protection en F CFA par hectare
PV	1057	131098 b
PS	958	160890 ab
PSN1	1086	181232 a
F programmes	1,08	5,37
signification en %	35,7	1,1
F écimage	1,01	0,75
signification en %	32,7	39,9
F interaction programme écimage	1,91	1,92
signification en %	16,8	16,6
CV en %	21,6	23,9

5 Discussions et conclusion

Cette étude confirme les effets bénéfiques de l'écimage sur les infestations de chenilles de la capsule quelle que soit l'espèce considérée et montre l'intérêt d'adopter des seuils plus bas en début de campagne pour mieux contrôler les infestations d'*Earias* sp. Par ailleurs de meilleurs taux de rétention des organes fructifères, de meilleurs taux de capsules entièrement saines et une plus grande précocité de production ont été attribués à l'écimage des cotonniers. Toutefois ce dernier avantage est probablement plus lié à une élaboration différente de la production qu'à un raccourcissement de la durée de développement des organes fructifères. Ces effets parfois mentionnés dans la littérature n'avaient pas encore été observés au Mali.

Au niveau des interactions entre programmes de protection et écimage on doit retenir une meilleure efficacité vis-à-vis des chenilles de la capsule des interventions sur seuil modulé par rapport celle du programme actuel d'interventions sur seuil lorsque les cotonniers sont écimés. Ces deux pratiques mériteraient donc d'être associées dans une approche intégrée de la protection du cotonnier vis-à-vis de ces ravageurs. Toutefois cet avantage ne s'est pas traduit cette année en termes productif et économique probablement parce que 90 % de la production de capsules entièrement saines est procuré par des organes fructifères apparaissant avant la réalisation de l'écimage. Toutefois seul le programme d'interventions sur seuil modulé procure des gains significativement supérieurs à ceux des interventions calendaires.

INTERET DES INTERVENTIONS SUR SEUIL CONTRE LES CHENILLES DE LA CAPSULE BASEES SUR L'OBSERVATION DES PONTES DE CES RAVAGEURS

1 Justification

Dans le programme actuel d'interventions sur seuil les décisions de certaines⁴⁷ applications insecticides reposent sur l'observation des infestations de chenilles de la capsule (*Helicoverpa armigera* Hübner, *Diparopsis watersi* Rotschild et *Earias* spp⁴⁸). Mais, dans la règle de décision il n'est pas tenu compte de la dynamique des infestations. Il pourrait alors être intéressant de décider de la réalisation d'interventions sur seuil contre ces ravageurs sur la base d'observations de leurs pontes afin d'intervenir dès le début des infestations sur de très jeunes stades larvaires plus sensibles aux insecticides.

2 Objectifs

Le premier objectif de cette étude a été de définir une méthodologie d'observation des pontes de chenilles de la capsule plus rapide et surtout plus aisée que l'observation habituelle des pontes sur les plants. Le second objectif a été d'apprécier l'intérêt de l'observation de pontes par rapport à celle de chenilles de la capsule de la capsule pour des interventions sur seuil.

3 Matériels et méthodes

3.1 modalités étudiées, dispositif statistique, parcelle élémentaire

Dans un dispositif statistique en blocs de Fisher à 6 répétitions trois modalités de protection phytosanitaire de la culture cotonnière vis-à-vis des chenilles de la capsule (Tableau 1) ont été comparées avec des parcelles élémentaires de 64 m² (8 lignes de 10 mètres).

Tableau 1 : modalités de protection

code	programme de protection	seuil utilisé
PV	interventions tous les 14 jours à partir du 45 ^{ième} JAL ⁴⁹	pas de seuil
PS	interventions sur seuil à partir du 30 ^{ième} JAL	5 chenilles/25 plants
PSN1	interventions sur seuil à partir du 30 ^{ième} JAL	16 % de plants hébergeant des pontes ⁵⁰

Pour les interventions avant le 72^{ième} JAL une alternative aux pyréthrinoïdes⁵¹ a été utilisée. Elle a été remplacée au-delà du 72^{ième} JAL par une association d'un pyréthrinoïde à une autre

⁴⁷ Dans le programme d'interventions sur seuil actuellement diffusé des applications insecticides peuvent être aussi dirigées contre les pucerons, les aleurodes et *Syllepte derogata* (Fabricius)

⁴⁸ deux espèces du genre *Earias* sont présentes au Mali : *E. biplaga* (Walker) et *E. insulana* (Boisduval)

⁴⁹ Jour Après la Levée

⁵⁰ Ce seuil de 16 % de plants infestés correspond à celui de 5 chenilles pour 25 plants (résultats des études conduites en 2008)

⁵¹ Avaunt® (indoxacarbe 150g/l) utilisé à 0,16 litre/ha

matière active⁵². Seules les six lignes centrales de chaque parcelle élémentaire étaient concernées par les applications insecticides.

3.2 conditions de culture

L'étude a été implantée le 15 juin avec des semences de la variété STAM 59A. Au préalable le site d'implantation a reçu 5 tonnes de fumier par hectare en raison de la faible fertilité des sols de la sous station de Farako. En dehors de la protection insecticide, toutes les recommandations de la recherche ont été appliquées : densité de plantation de 8,3 plants/m² (interligne de 0,8 mètre, inter poquet de 0,3 mètre et démariage à 2 plants/poquets), contrôle de l'enherbement par sarclages manuels (réalisés au 16^{ième} JAL, 29^{ième} JAL, 42^{ième} JAL et 55^{ième} JAL), fertilisation minérale composée de 200 kg/ha d'engrais complet apporté au 16^{ième} JAL et de 50 kg/ha d'urée épandue au 29^{ième} JAL et buttage au 56^{ième} JAL.

3.3 observations

3.3.1 Date d'apparition du premier bouton floral

Cette observation a été effectuée sur tous les plants d'une des lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. On y a compté quotidiennement le nombre de plants ayant des squares (très jeunes boutons floraux) à partir du 25^{ième} JAL. Dès que ce nombre atteignait la moitié du nombre de plants d'une ligne l'observation était arrêtée sur cette ligne. La dernière date d'observation par ligne était alors considérée comme la date moyenne d'apparition du premier square au niveau de cette parcelle élémentaire.

3.3.2 chenilles de la capsule

Du 30^{ième} au 135^{ième} JAL, les chenilles de la capsule ont été dénombrées une fois par semaine sur 25 plants répartis sur les deux lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. Les enregistrements ont distingué les trois espèces principales : *H. armigera*, *D. watersi* et *Earias* spp.

3.3.3 pontes de chenilles de la capsule (uniquement dans les parcelles PSN1)

Deux techniques d'observation des pontes de chenilles de la capsule ont été mises en œuvre sur des cotonniers différents de ceux sélectionnés pour les observations de chenilles de la capsule:

la première technique consistait à dénombrer les plants hébergeant des pontes de chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) sur 25 plants par parcelle élémentaire en examinant uniquement le sommet des plants⁵³

la seconde technique consistait également à dénombrer les plants hébergeant des pontes de chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) sur 25 autres plants par parcelle élémentaire en examinant le manchon de toile moustiquaire qui enveloppait le sommet de chaque plant (ces manchons étaient soigneusement débarrassés des pontes après chaque observation avant d'être replacé sur les sommets des plants en fin de journée la veille d'une nouvelle date d'observation)

Ces observations hebdomadaires ont débuté au 30^{ième} JAL et se sont arrêtées au 135^{ième} JAL. Dès que 4 plants hébergeaient des pontes suivant l'une ou l'autre technique

⁵² CAPT 88EC® (cyperméthrine- acétaméprid 72-16) utilisée à 0,5 litre/ha

⁵³ C'est la localisation préférentielle des pontes de chenilles de la capsule

d'observation, une application insecticide a été réalisée sur la parcelle concernée en respectant le protocole quant à la formulation à employer.

3.3.4 dénombrement de capsules

Au 70^{ième}, 80^{ième}, 90^{ième}, 100^{ième}, 110^{ième}, 120^{ième} et 130^{ième} JAL, on a observé 10 plants par parcelle élémentaire. Pour chaque plant on a relevé le nombre de capsules portées ayant un diamètre supérieur à celui d'une pièce de 25 F CFA⁵⁴. Les plants observés ne changeaient pas du début à la fin de la campagne.

3.3.5 date de début d'ouverture des capsules

Cette observation a été réalisée sur tous les plants d'une des lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. On y a compté tous les deux jours le nombre de plants ayant des capsules ouvertes (une seule capsule ouverte par plant suffisant) sur chaque ligne à partir du 90^{ième} JAL. Dès que ce nombre atteignait la moitié du nombre de plants d'une ligne cette observation était arrêtée. La dernière date d'observation était alors considérée comme la date moyenne de début d'ouverture des capsules de la parcelle élémentaire.

3.3.6 examen de la production à l'échelle de plants

Par parcelle élémentaire un tronçon de 4,5 mètres a été délimité sur une des lignes centrales. Pour chaque plant présent sur chaque tronçon on n'a observé que les premières positions de branches fructifères. Pour chaque position on a noté si elle était occupée par une capsule entièrement saine, un autre organe fructifère (bouton, fleur, capsule partiellement saine, pourrie ou momifiée sans précision) ou si aucun organe fructifère n'était porté⁵⁵.

3.3.7 rendement et stand

Le coton graine produit sur les 4 lignes centrales de chaque parcelle élémentaire a ensuite été récolté puis pesé. Parallèlement le nombre de plants présents sur ces lignes a été relevé.

4 Résultats

Les chenilles d'*Earias* spp ont été dominantes sur l'ensemble de la campagne (Figure 1). Elles furent plus présentes que les chenilles des deux autres espèces surtout en début de campagne jusqu'au 65^{ième} JAL et au cours de la deuxième quinzaine du mois de septembre (Figure 2). Les infestations moyennes de chenilles de la capsule n'ont jamais été très élevées (< 7 chenilles pour 100 plants) : un premier pic a été observé vers la mi-août (4,0 chenilles pour 100 plants), un second vers la mi-septembre (4,4 chenilles pour 100 plants) et un dernier au début du mois d'octobre (6,2 chenilles pour 100 plants) comme le montre la Figure 3. En conséquence très peu de parcelles ont reçu des interventions sur seuil selon le programme PS: les premières furent réalisées au 93^{ième} JAL et les secondes au 107^{ième} JAL (Figure 3).

⁵⁴ Des études conduites en 2008 ont montré que des capsules ayant ce diamètre ne sont plus sujettes à une abscission

⁵⁵ Des études conduites en 2008 ont montré que cet examen simplifié de la production à l'échelle de plant rendait parfaitement compte des certaines caractéristiques de la production à l'échelle de plants entiers : taux de capsules entièrement saines, nombre de capsules entièrement saines et taux de rétention des organes fructifères.

Les pontes des adultes de ces ravageurs sont principalement décelées après le 11 septembre (Figure 4). La deuxième technique d'observation permet toutefois d'en observer plus tôt (Figure 4) : au 44^{ième} JAL. Après le 11 septembre, le pourcentage de plants hébergeant des pontes s'élève (Figure 4). De la fin septembre à la mi-octobre ce pourcentage reste à un niveau toujours plus élevé suivant la deuxième technique même après le dernier pic de chenilles (au début octobre). Suivant la première technique d'observation deux pics sont notés : ils correspondent à ceux des infestations de chenilles de la capsule. Sur la base des observations de pontes très peu de parcelles (50%) ont reçu des interventions sur seuil : une seule intervention sur seuil par parcelle et uniquement au moment du dernier pic d'infestation en chenilles de la capsule (Figure 3).

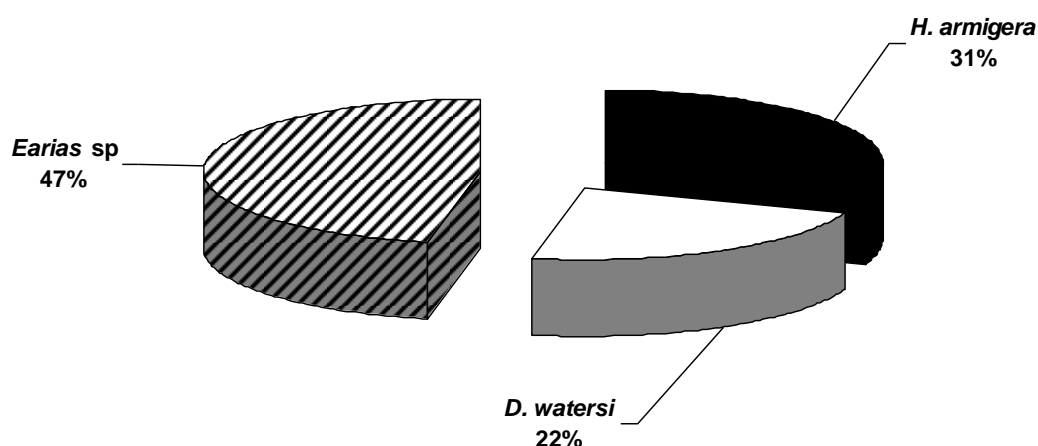


Figure 1 : importances relatives des différentes espèces de chenille de la capsule sur l'ensemble de la campagne

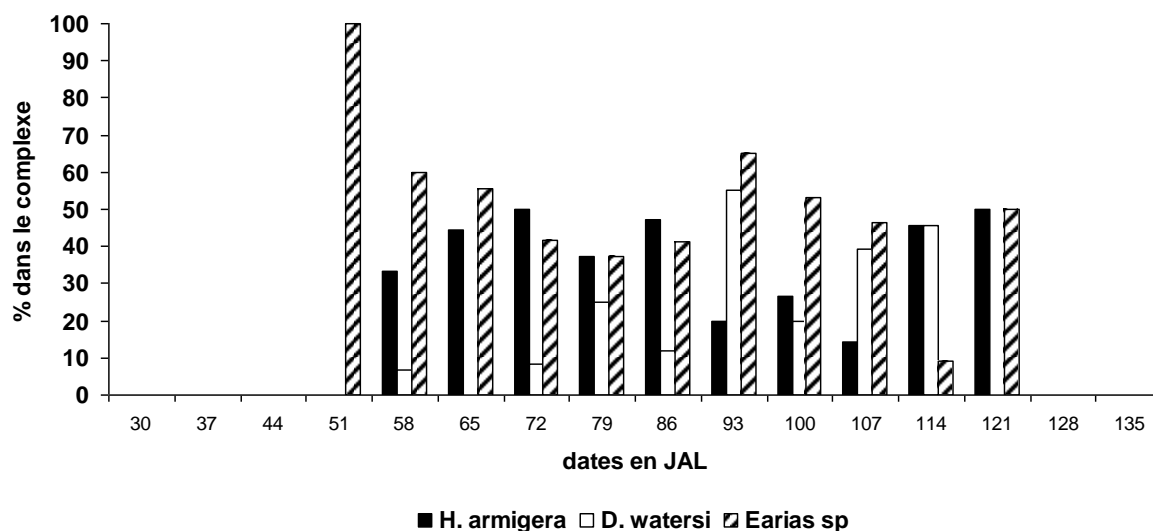


Figure 2 : variation des importances relatives des différentes espèces de chenille de la capsule au cours de la campagne

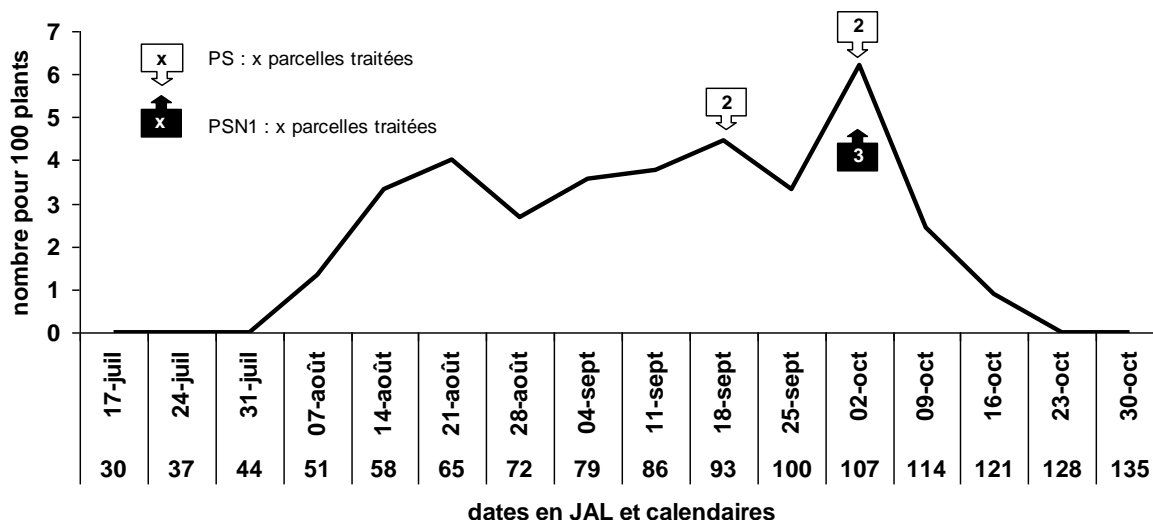


Figure 3 : dynamique moyenne des infestations de chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) et positionnement des interventions sur seuil

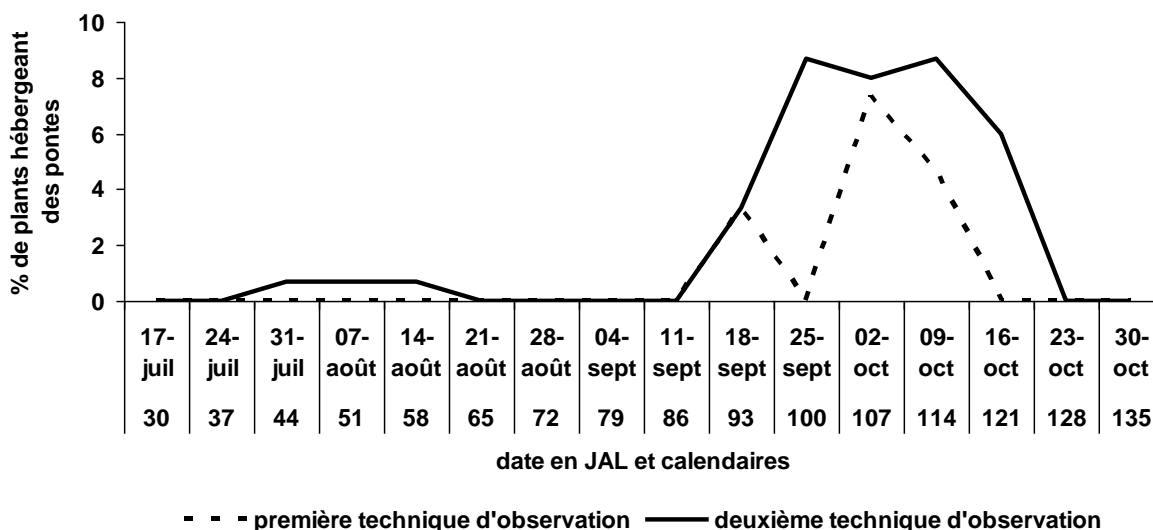


Figure 4 : évolution des taux de plants hébergeant des pontes de chenilles de la capsule en fonction des deux techniques d'observation

Conséquence probable du nombre d'interventions insecticides, le meilleur contrôle des chenilles de la capsule est obtenu significativement avec le programme d'interventions calendaires (PV) mais le programme d'interventions sur seuil basé sur l'observation de 16 % de plants hébergeant des pontes (PSN1) ne lui est différent que pour les infestations de chenilles d'*H. armigera* et le cumul des chenilles de la capsule des espèces (Tableau 2). Le programme actuel d'interventions sur seuil (PS) procure le plus mauvais contrôle au niveau du cumul des chenilles de la capsule quelle que soit l'espèce considérée (Tableau 2).

Tableau 2 : nombre d'interventions insecticides par hectare et infestations moyennes de chenille de la capsule en fonction des programmes de protection

	nombre de traitements	nombre de chenilles/100 plants par observation			
		cumul	<i>H. armigera</i>	<i>D. wartseni</i>	<i>Earias</i> sp
PV	6,0 b	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
PS	0,7 a	6,18 c	2,06 b	1,29 b	2,74 c
PSN1	0,5 a	0,52 b	0,23 b	0,00 a	0,28 b
F programme	128,90	227,35	75,93	32,25	116,94
signification en %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CV en %	28,3	9,0	37,8	74,7	30,4
Transformation		$\sqrt{x+1}$	$\ln(x+1)$		$\ln(x+1)$

Cependant aucune différence n'est apparue entre les programmes de protection pour les charges des cotonniers en capsules quelle que soit la date de l'observation (Tableau 3).

Tableau 3 : évolution des charges en capsules de 10 cotonniers en fonction des programmes de protection

JAL	nombre de capsules pour 10 cotonniers à différentes dates						
	70	80	90	100	110	120	130
Calendaire	26-août	05-sept	15-sept	25-sept	05-oct	15-oct	25-oct
PV	1,0	5,7	12,7	20,2	25,5	29,3	35,5
PS	2,2	6,8	14,8	22,0	26,2	32,2	36,7
PSN1	2,3	7,2	16,3	23,5	27,5	33,0	37,5
F programme	1,56	1,70	2,53	1,73	0,55	1,25	0,63
signification en %	25,7	23,1	12,8	22,5	59,9	32,8	55,8
CV en %	77,8	22,6	19,4	14,2	12,8	13,4	8,5

Une différence significative en faveur du programme d'intervention sur seuil PSN1 a été observée dans les densités de plantation à la récolte mais uniquement à travers les dénombrements de plants des 4 lignes centrales de récolte (Tableau 4). Par ailleurs ces densités de plantation à la récolte sont loin de l'objectif fixé : de 43 à 62 % de cet objectif selon la méthode d'observation et le programme de protection. Aucune différence significative n'est toutefois apparue entre les programmes de protection pour les nombres de branches fructifères par plant (Tableau 4).

Tableau 4 : effets des programmes de protection sur les densités de plantation à la récolte et sur le nombre de branches fructifères par plant

	densité de plantation (en plants/m ²)		nombre de branches fructifères par plant
	tronçon de ligne de 4,5 m	4 lignes centrales	
PV	4,6	3,8 b	13,6
PS	5,1	3,6 b	13,1
PSN1	5,2	4,2 a	13,0
F programme	1,64	13,09	0,32
signification en %	24,2	0,2	73,4
CV en %	12,9	4,8	9,7

L'examen détaillé de la production à l'échelle des plants ne montre pas des taux de rétention des organes fructifères très élevés sur les premières positions de branches fructifères (Figure 5) : ils sont toujours inférieurs à 50 %. L'effet des pluies tardives de cette campagne sur ces taux moyens de rétention a été très faible et n'apparaît qu'au cours de la 8^{ème} semaine de production d'organes fructifères. Pour cette caractéristique aucune différence significative n'apparaît entre les programmes de protection sur l'ensemble de la campagne et quelle que soit la date d'apparition de ces organes fructifères (Tableau 5).

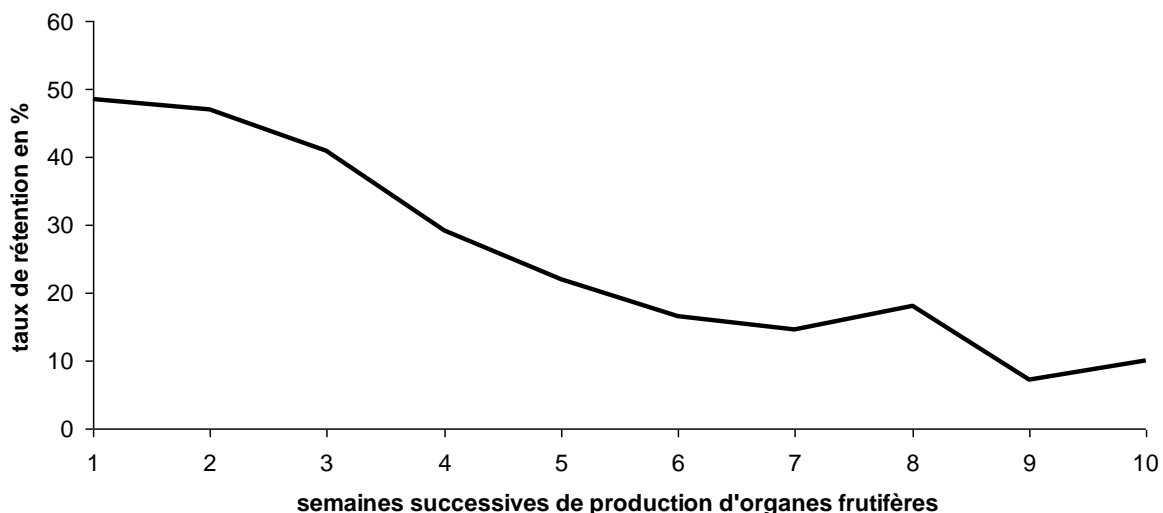


Figure 5 : taux moyen de rétention des organes fructifères produits en première position de branche fructifère par semaine successive de production d'organes fructifères

Tableau 5 : influence des programmes de protection sur les taux de rétention des organes fructifères produits en première position de branche fructifère sur l'ensemble de la campagne ou par semaine successive de production d'organes fructifères⁵⁶

	taux de rétention en % des organes fructifères produits						
	sur l'ensemble de la campagne	au cours de la première semaine	au cours de la deuxième semaine	au cours de la troisième semaine	au cours de la quatrième semaine	au cours de la cinquième semaine	au cours de la sixième semaine
PV	36,9	44,3	43,7	43,5	35,5	28,8	21,0
PS	31,5	46,5	44,9	34,5	24,5	13,0	5,8
PSN1	38,9	54,7	52,1	44,5	25,3	20,9	13,6
F programme	0,71	0,90	0,53	0,78	1,51	2,76	1,64
Signification en %	52,0	44,1	61,1	49,0	26,7	11,0	24,2
CV en %	18,2	18,4	20,4	22,7	23,8	31,0	61,1
transformation	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p

En moyenne 66,7 % des premières positions de branches fructifères occupées par un organe fructifère à la récolte le sont par des capsules entièrement saines. Les taux de capsules entièrement saines sont relativement élevés pour les organes fructifères apparus au cours des trois premières semaines de production d'organes fructifères puis ils chutent régulièrement par la suite (Figure 6). Bien que souvent à l'avantage des programmes d'interventions sur seuil (PS et PSN1) une seule différence significative est apparue pour

⁵⁶ Au-delà de la 6^{ème} semaine de production d'organes fructifères les analyses statistiques n'ont pas pu être entreprises en raison du nombre de données parcellaires incalculables (absence de production de site fructifère)

cette caractéristique de la production entre les programmes de protection (Tableau 6). Elle est observée en faveur du programme actuel d'interventions sur seuil par rapport au programme d'interventions calendaires pour les organes fructifères retenus et produits au cours de la deuxième semaine de production d'organes fructifères (Tableau 6).

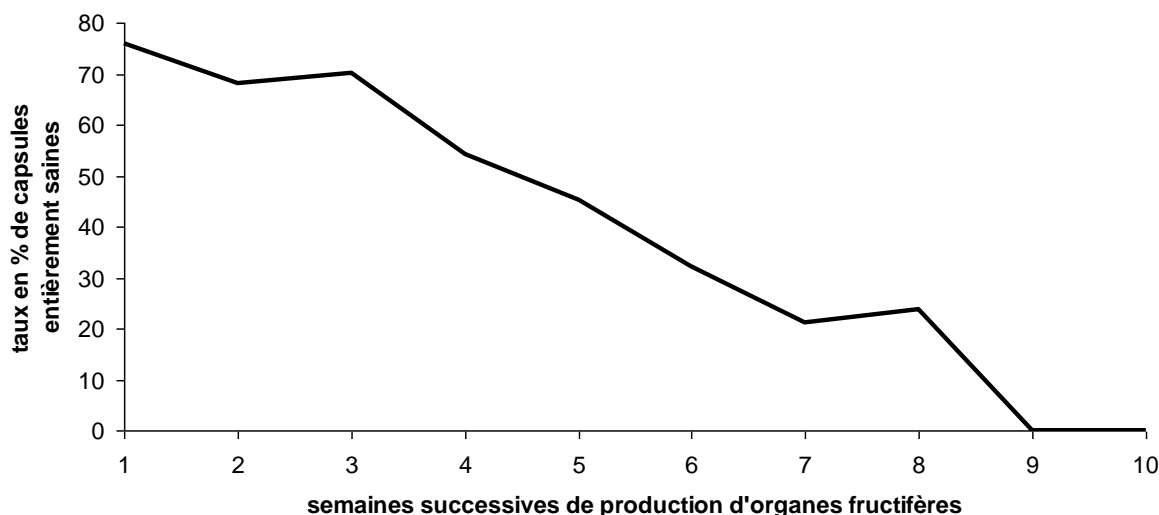


Figure 6 : taux moyen de capsules entièrement saines des organes fructifères retenus par semaine successive de production d'organes fructifères

Tableau 6 : taux de capsules entièrement saines pour les organes fructifères en première position de branche fructifère retenus sur l'ensemble de la campagne et par semaine de production d'organes fructifères en fonction des programmes de protection⁵⁷

	taux de capsules entièrement saines en % des organes fructifères en première position de branche fructifère retenus et produits					
	sur l'ensemble de la campagne	au cours de la première semaine	au cours de la deuxième semaine	au cours de la troisième semaine	au cours de la quatrième semaine	au cours de la cinquième semaine
PV	59,3	68,2	58,7 b	74,7	44,4	39,2
PS	68,9	84,9	79,5 a	62,8	52,0	35,4
PSN1	73,2	81,7	69,9 ab	75,6	63,0	52,5
F programme	3,64	1,27	6,52	3,13	0,89	0,30
signification en %	6,4	32,4	1,5	8,7	44,4	75,3
CV en %	10,1	21,0	11,1	10,7	29,9	57,8
transformation	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p

En terme de précocité de production mesurée par la date d'apparition la plus tardive des organes fructifères contribuant déjà à 50 %, 70 % et 90 % de la production totale de capsules entièrement saines en première position de branche fructifère des différences significatives apparaissent en faveur des programmes d'interventions sur seuil (Tableau 7). Elles sont probablement le résultat des meilleurs taux de rétention et de capsules entièrement saines au début de la campagne (Tableaux 5 et 6) car aucune différence significative n'est apparue en faveur de ces programmes de protection pour durée entre la date d'apparition du premier bouton floral et la date de première ouverture de capsule, une tendance même inverse étant notée (Tableau 8).

⁵⁷ seuls les résultats des cinq premières semaines de production d'organes ont pu être analysés statistiquement

Tableau 7 : date d'apparition (en JAL) la plus tardive des organes fructifères contribuant à 50 %, 70 % et 90 % de la production totale de capsules entièrement saines en première position de branche fructifère en fonction des programmes de protection

	date d'apparition (en JAL) la plus tardive des organes fructifères contribuant déjà à x % de la production totale de capsules entièrement saines des premières positions de branches fructifères		
	50 %	70 %	90 %
PV	48,8 b	54,4 b	63,5 b
PS	43,0 a	48,7 a	56,4 a
PSN1	42,5 a	51,0 a	58,5 ab
F programme	4,72	8,04	4,73
signification en %	3,6	0,8	3,5
CV en %	8,9	4,8	6,9

Tableau 8 : effet des programmes de protection sur la durée entre la date d'apparition du premier bouton floral et la date de première ouverture de capsule

	durée (en jours) entre la date d'apparition du premier bouton floral et la date de première ouverture de capsule 50 %
PV	88,3
PS	89,3
PSN1	90,7
F programme	3,14
signification en %	8,7
CV en %	1,8

Aucune différence n'est observée dans les performances productives des programmes de protection (Tableau 9). Alors compte tenu de nombres d'interventions insecticides plus faibles, sur la base d'un prix d'achat du coton graine de 170 F CFA/kg et d'un coût moyen d'une intervention insecticide de 8 107 F CFA/ha⁵⁸, les meilleurs produits diminués des coûts de protection sont significativement obtenus avec les programmes d'interventions sur seuil sans différence entre eux (Tableau 9).

Tableau 9 : rendement en coton graine et produit diminué des coûts de protection en fonction des programmes de protection

⁵⁸ pour l'année 2008, le coût de 8 107 F CFA/ha pour une intervention insecticide était décomposé en 4 507 F CFA d'achat d'un litre d'insecticide, 900 F CFA le coût des piles pour une application, 150 F CFA le coût de la main d'œuvre pour la réalisation d'une application et 2 550 F CFA le coût de l'amortissement et de l'entretien de l'appareil de traitement par application

	rendement en kg de coton graine par hectare	produit diminué des coûts de protection en F CFA par hectare
PV	1031	126671 b
PS	1031	169908 a
PSN1	1086	180556 a
F programme	0,47	12,70
signification en %	64,1	0,2
CV en %	10,7	12,3

5 Discussions et conclusion

La technique d'observation des pontes en plaçant des manchons de toile moustiquaire sur les sommets des plants la veille d'une observation est apparue mieux appropriée que l'observation des pontes sur les plants. Sur la base d'un taux de 16 % de plants hébergeant des pontes les interventions sur seuil sont réduites et procurent un meilleur contrôle des chenilles de la capsule (probablement en intervenant sur de plus jeunes stades larvaires) que le programme actuel d'interventions sur seuil. Ce contrôle est d'ailleurs très proche de celui obtenu par des interventions calendaires. Ce résultat mérite donc d'être souligné car l'une des faiblesses du programme actuel d'interventions sur seuil est son moins bon contrôle des chenilles de la capsule par rapport à des interventions calendaires. Il peut être attribué à un meilleur timing des interventions insecticides par rapport à la dynamique des infestations de chenilles de la capsule (en agissant ainsi sur les plus jeunes stades larvaires) mais aussi au type de seuil utilisé (un % de plants infestés). Ces bons résultats n'ont malheureusement pas eu de répercussion significative sur les performances productives et économiques même si ce nouveau programme d'interventions sur seuil procure les meilleurs résultats à ces deux niveaux.

Ces résultats méritent d'être confirmés pendant au moins deux campagnes pour pouvoir être proposés aux producteurs. Simultanément d'autres seuils d'intervention basés sur des taux de plants infestés différents pourraient être étudiés pour améliorer encore le meilleur timing des interventions sur seuil par rapport à la dynamique des infestations de chenilles de la capsule en début de campagne.

CONFIRMATION DE L'INTERET D'UNE NOUVELLE REGLE POUR LES INTERVENTIONS SUR SEUIL CONTRE LES CHENILLES DE LA CAPSULE

1 Justification

Sans prétendre les généraliser, les conclusions de l'étude conduite en 2001 dans les premiers villages où le programme actuel d'interventions sur seuil était diffusé ont souligné que la nécessité de la présence d'un ravageur (ou groupe de ravageurs) pour décider d'intervenir semblait bien comprise par l'ensemble des agriculteurs mais que l'atteinte d'un certain niveau d'infestation n'était pas encore bien perçue. Remplacer la règle de décision actuelle contre les chenilles de la capsule, qui est d'intervenir lorsque les infestations atteignent 5 chenilles pour 25 plants, par une autre règle reposant sur la présence ou l'absence de ces ravageurs répondrait mieux aux préoccupations des agriculteurs et faciliterait leur formation et donc la diffusion de ces programmes d'interventions sur seuil.

Une nouvelle règle a donc été élaborée dans ce sens en 2005. Elle consistait en la réalisation d'interventions contre les chenilles de la capsule dès qu'un seul de ces ravageurs était observé en n'examinant que 12 plants de cotonniers par parcelle élémentaire. Les résultats ont été encourageants en 2006 mais en 2007 avec des infestations plus élevées les performances économiques de ce nouveau programme d'interventions sur seuil ont été plus décevantes du fait d'un nombre plus élevé d'applications insecticides. Cela pouvait provenir de l'assimilation du seuil opérationnel au seuil réel pour déterminer le nombre de plants à observer. En effet si l'on se basait sur le seuil réel au lieu du seuil opérationnel seuls 9 plants auraient dû être observés ce qui aurait probablement réduit le nombre d'applications comme cela fut d'ailleurs constaté en 2008 (0,5 application / ha de moins significatif à 12,6 %). Mais il reste important de confirmer de dernier ce résultat.

2 Objectifs

Le principal objectif de cette étude a été de tester l'intérêt de cette nouvelle règle reposant également sur la présence ou l'absence de ces ravageurs pour intervenir contre les chenilles de la capsule en observant seulement 9 plants. Une attention particulière a été accordée à la diminution du nombre d'interventions insecticides que pourrait entraîner cette nouvelle règle par rapport à celle basée sur l'observation de 12 plants et à leur augmentation par rapport à celles entraînées par l'application de la règle du programme actuel d'interventions sur seuil (dénombrement des infestations de chenilles de la capsule sur 25 plants).

3 Matériels et méthodes

3.1 modalités étudiées, dispositif statistique, parcelle élémentaire

Trois programmes d'interventions sur seuil débutant au 30^{ième} JAL ont donc été comparés dans un dispositif en blocs de Fisher à 16 répétitions avec des parcelles élémentaires de 64 m² (8 lignes de 10 mètres) : le programme actuel (PS) pour lequel les interventions contre les chenilles carpophages ont été déclenchées dès que les infestations atteignaient 5 chenilles pour 25 plants, l'ancien programme (PSN1) pour lequel les interventions contre les chenilles carpophages ont été déclenchées dès que l'on observait un de ces ravageurs en examinant seulement 12 plants de cotonniers et le nouveau programme (PSN2) pour lequel les interventions contre les chenilles carpophages ont été déclenchées dès que l'on observait un de ces ravageurs en examinant seulement 9 plants de cotonniers.

Pour les interventions avant le 72^{ième} JAL une alternative aux pyréthriinoïdes⁵⁹ a été utilisée. Elle fut par la suite remplacée par une association d'un pyréthriinoïde à une autre matière active⁶⁰. Seules les six lignes centrales de chaque parcelle élémentaire étaient concernées par les applications insecticides.

3.2 conditions de culture

L'étude a été implantée le 14 juin avec des semences de la variété STAM 59A. Au préalable le site d'implantation a reçu 5 tonnes de fumier par hectare en raison de la faible fertilité des sols de la sous station de Farako. En dehors de la protection insecticide, toutes les recommandations de la recherche ont été appliquées : densité de plantation de 8,3 plants/m² (interligne de 0,8 mètre, inter poquet de 0,3 mètre et démariage à 2 plants/poquets), contrôle de l'enherbement par sarclages manuels (réalisés au 16^{ième} JAL, 29^{ième} JAL, 42^{ième} JAL et 55^{ième} JAL), fertilisation minérale composée de 200 kg/ha d'engrais complet apporté au 16^{ième} JAL et de 50 kg/ha d'urée épandue au 29^{ième} JAL et buttage au 56^{ième} JAL.

3.3 observations

3.3.1 chenilles de la capsule

Du 30^{ième} au 135^{ième} JAL, les chenilles de la capsule ont été dénombrées une fois par semaine sur des plants répartis sur les deux lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. Les enregistrements ont distingué les trois espèces principales : *Helicoverpa armigera* (Hübner), *Diparopsis watersi* (Rotschild) et *Earias* spp⁶¹. Pour les parcelles recevant le programme actuel d'interventions sur seuil (PS) le nombre de plants observés par parcelle était de 25 et pour celles recevant les programmes PSN1 et PSN2 de 12 et 9 respectivement. Les enregistrements se faisaient dans l'ordre de sélection des plants au sein de chaque parcelle.

3.3.2 examen de la production à l'échelle de plants

Par parcelle élémentaire un tronçon de 4,5 mètres a été délimité sur une des lignes centrales. Pour chaque plant présent sur chaque tronçon on n'a observé que les premières positions de branches fructifères. Pour chaque position on a noté si elle était occupée par une capsule entièrement saine, un autre organe fructifère (bouton, fleur, capsule partiellement saine, pourrie ou momifiée sans précision) ou si aucun organe fructifère n'était porté⁶².

3.3.3 rendement et stand

Le coton graine produit sur les 4 lignes centrales de chaque parcelle élémentaire a ensuite été récolté puis pesé. Parallèlement le nombre de plants présents sur ces lignes a été relevé.

4 Résultats

⁵⁹ Avaunt® (indoxacarbe 150g/l) utilisé à 0,16 litre/ha

⁶⁰ CAPT 88EC® (cyperméthrine- acétaméprid 72-16) utilisée à 0,5 litre/ha

⁶¹ deux espèces du genre *Earias* sont présentes au Mali : *E. biplaga* (Walker) et *E. insulana* (Boisduval)

⁶² Des études conduites en 2008 ont montré que cet examen simplifié de la production à l'échelle de plant rendait parfaitement compte des certaines caractéristiques de la production à l'échelle de plants entiers : taux de capsules entièrement saines, nombre de capsules entièrement saines et taux de rétention des organes fructifères.

Sur l'ensemble de la campagne les chenilles d'*Earias* spp ont été les plus fréquentes (Figure 1). A l'exception d'une date elles dominent le complexe des chenilles de la capsule jusqu'au 86^{ième} JAL et sans être dominantes par la suite elles restent néanmoins très présentes (Figure 2).

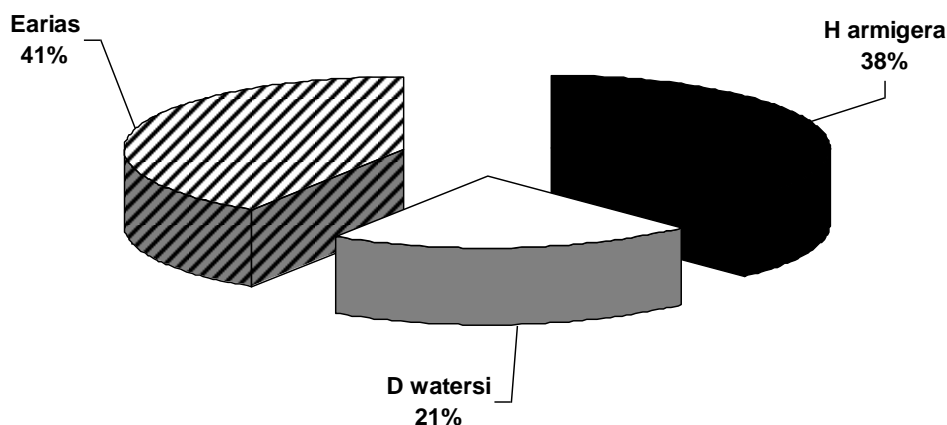


Figure 1 : importances relatives des différentes espèces de chenilles de la capsule sur l'ensemble de la campagne

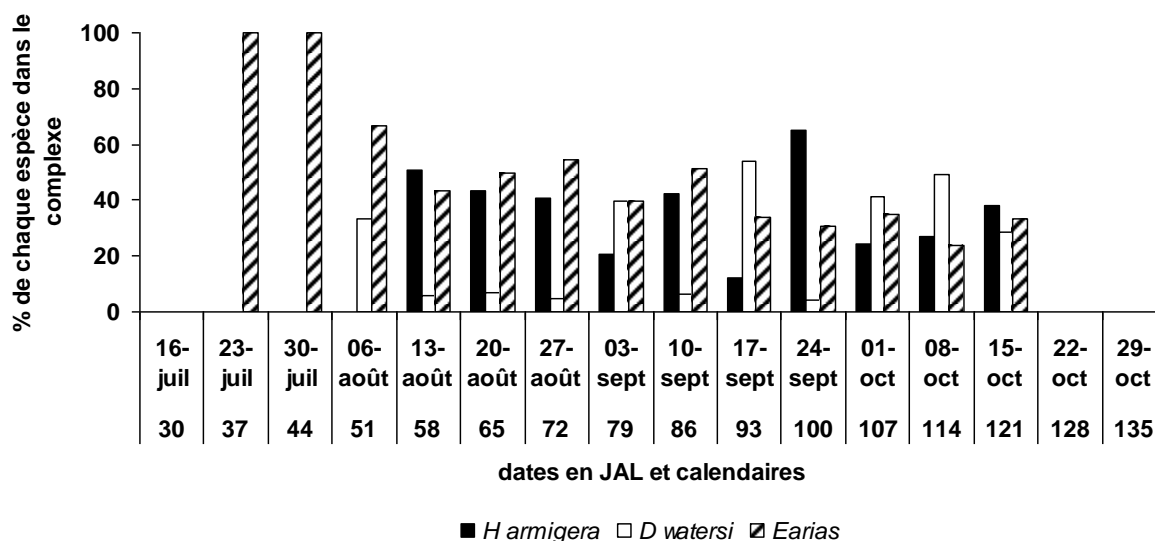


Figure 2 : évolution des importances relatives des différentes espèces de chenilles de la capsule au cours de la campagne

Les infestations moyennes de chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) n'ont jamais été très élevées (< 9 chenilles pour 100 plants) comme le montre la figure 3. Trois pics d'infestation avec des niveaux croissants du début à la fin de la campagne sont apparus : au 58^{ième} JAL, au 86^{ième} JAL et au 100^{ième} JAL (Figure 3). Malgré ces faibles infestations de chenilles de la capsule de nombreuses interventions sur seuil furent réalisées mais elles furent plus nombreuses, plus précoces et aussi plus tardives avec les nouvelles règles étudiées (Figure 3)

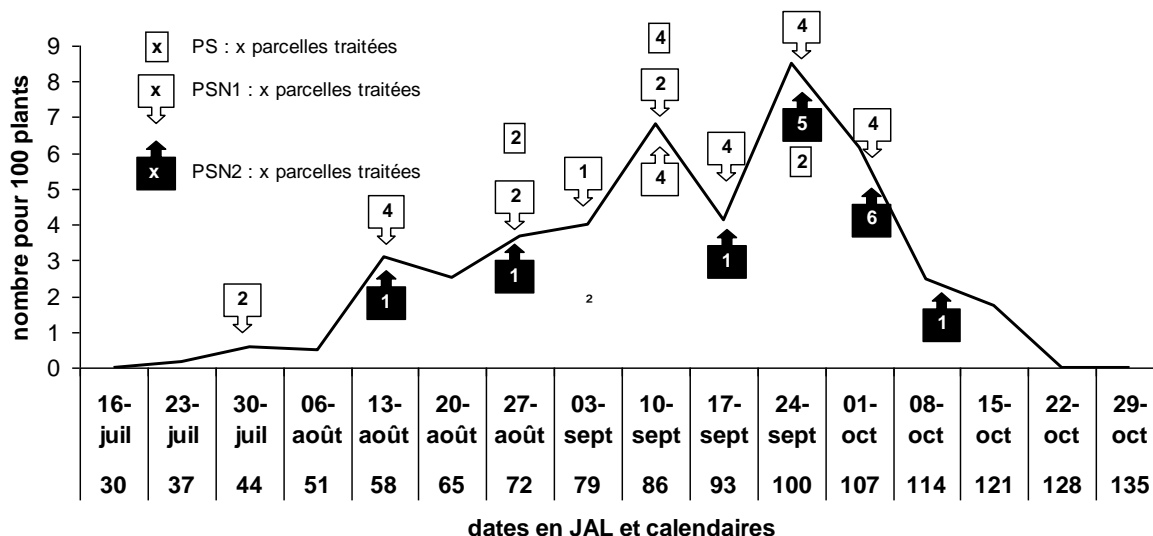


Figure 3 : dynamique moyenne des infestations de chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) et positionnement des interventions sur seuil en fonction des programmes de protection

Si le nombre d'interventions sur seuil suivant la règle définie pour le programme PSN2 est légèrement inférieur à celui auquel a conduit la règle du programme PSN1 il n'en diffère pas statistiquement et ces deux nombres d'interventions sont significativement plus élevés qu'avec le programme actuel d'interventions sur seuil (PS) comme le montre le tableau 1. Conséquence probable de ces nombres d'interventions plus élevés avec les deux nouveaux programmes de protection sur seuil, leurs efficacités sont apparues quelle que soit l'espèce considérée (et donc pour l'ensemble des chenilles) meilleures que celle des interventions sur seuil utilisant la règle actuellement diffusée (Tableau 1).

Tableau 1 : nombre d'interventions insecticides et infestations de chenilles de la capsule en fonction des programmes de protection

	nombre de traitements	nombre de chenilles pour 100 plants par observation			
		H armigera	D watersi	Earias	cumul
PS	0,5 a	2,13 b	1,11 b	2,42 b	5,63 b
PSN1	1,4 b	0,36 a	0,24 a	0,46 a	0,99 a
PSN2	1,2 b	0,65 a	0,34 a	0,52 a	1,43 a
F programme	6,61	64,52	14,54	60,32	97,42
signification en %	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
CV en %	72,5	45,1	15,5	50,8	13,9
transformation			$\sqrt{x+1}$		$\sqrt{x+1}$

Les différences d'efficacité des programmes de protection vis-à-vis de l'ensemble des chenilles de la capsule s'observent tout au long de la campagne mais elles apparaissent beaucoup plus importantes en début de cycle (du 58^{ième} au 86^{ième} JAL) comme le montre la figure 4.

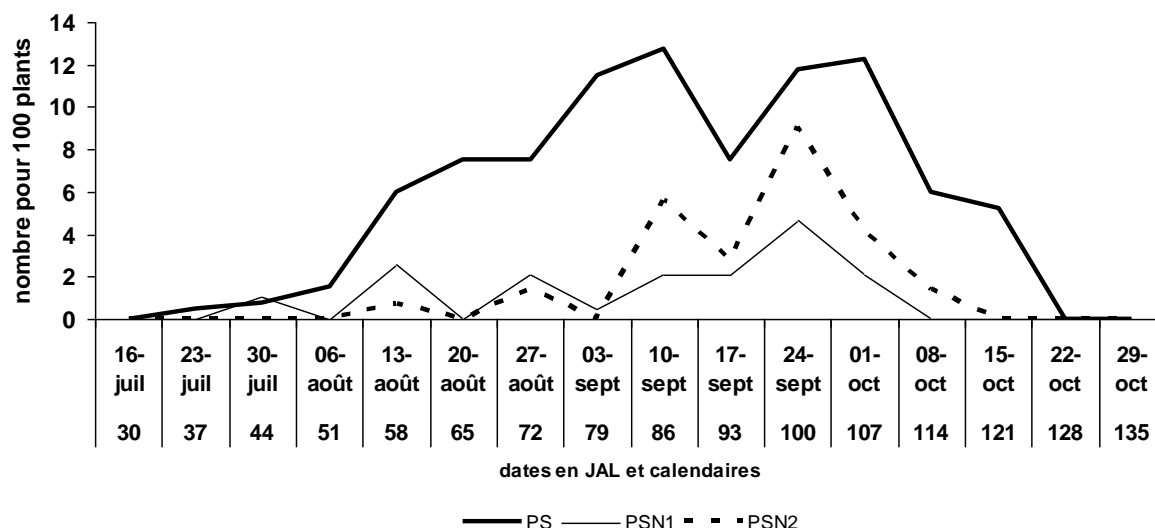


Figure 4 : dynamique des infestations de chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) en fonction des programmes de protection

Avec les nouvelles règles le temps d'observation a été réduit en moyenne de 54 % et 63 % respectivement pour les programmes PSN1 et PSN2 par rapport au programme PS sur la seule base de l'arrêt des observations dès qu'une chenille est observée. Ces réductions auraient été plus importantes si on avait pu estimer le temps gagné par l'absence de dénombrement des chenilles (la présence d'une seule chenille suffisait pour décider d'une intervention insecticide avec les deux nouvelles règles).

Les densités de plantation à la récolte n'ont fort logiquement pas été influencées par les programmes d'interventions sur seuil comparés (Tableau 2) mais elles restent très en dessous de l'objectif fixé (de 51 % à 62 % de l'objectif selon l'observation et le programme d'interventions sur seuil). D'autre part, le nombre de branches fructifères par plant n'a pas été significativement influencé par les programmes de protection mis en œuvre (Tableau 2).

Tableau 2 : effets des programmes d'interventions sur seuil sur les densités de plantation à la récolte et sur le nombre de branches fructifères par plant

	densité de plantation (en plants/m ²)		nombre de branches fructifères par plant
	tronçon de ligne de 4,5 m	4 lignes centrales	
PS	5,1	4,3	15,3
PSN1	5,0	4,4	14,5
PSN2	5,2	4,4	15,2
F programme	0,21	0,17	0,51
signification en %	81,4	84,3	60,9
CV en %	19,7	11,0	15,3

L'examen détaillé de la production à l'échelle des plants ne montre pas des taux moyens de rétention des organes fructifères très élevés sur les premières positions de branches fructifères (Figure 5 et Tableau 3) : ils sont toujours inférieurs à 60 %. Probablement en raison des pluies tardives de cette campagne, ces taux moyens de rétention se ré-élèvent en fin de campagne (Figure 5) alors qu'habituellement à partir d'une certaine date ils ne font que baisser. Pour cette caractéristique aucune différence significative n'apparaît entre les

programmes d'interventions sur seuil sur l'ensemble de la campagne et quelle que soit la date d'apparition de ces organes fructifères (Tableau 3).

Tableau 3 : influence des programmes d'interventions sur seuil sur les taux de rétention des organes fructifères produits en première position de branche fructifère sur l'ensemble de la campagne ou par semaine successive de production d'organes fructifères⁶³

	taux de rétention en % des organes fructifères produits						
	sur l'ensemble de la campagne	au cours de la première semaine	au cours de la deuxième semaine	au cours de la troisième semaine	au cours de la quatrième semaine	au cours de la cinquième semaine	au cours de la sixième semaine
PS	34,5	50,0	51,3	44,0	25,9	15,1	9,2
PSN1	36,5	52,9	51,8	40,1	22,3	18,1	18,0
PSN2	34,2	52,7	50,1	40,0	26,6	16,9	14,2
F programme	0,57	0,39	0,12	0,76	0,84	0,38	1,92
signification en %	57,8	68,6	88,8	48,0	44,5	69,1	16,2
CV en %	11,1	12,8	13,1	15,0	22,9	31,4	49,6
transformation	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p

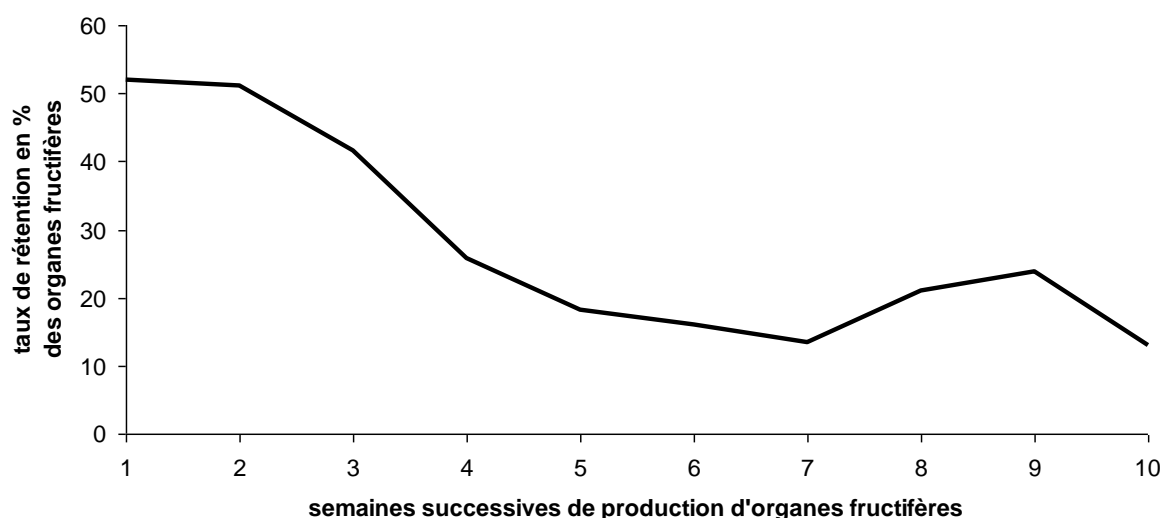


Figure 5 : taux moyen de rétention des organes fructifères produits en première position de branche fructifère par semaine successive de production d'organes fructifères

En moyenne 70,6 % des premières positions de branches fructifères occupées par un organe fructifère à la récolte le sont par des capsules entièrement saines. Les taux de capsules entièrement saines sont relativement élevés pour les organes fructifères apparus au cours des quatre premières semaines de production d'organes fructifères puis ils chutent régulièrement par la suite (Figure 6). Ainsi l'amélioration des rétentions d'organes fructifères observée pour les 8^{ième} et 9^{ième} semaines de production d'organes fructifères par rapport aux deux semaines précédentes n'a pas conduit à des productions importantes de capsules entièrement saines. Aucune différence significative n'est apparue pour cette caractéristique de la production entre les programmes d'interventions sur seuil que l'on considère les organes fructifères des premières positions de branches fructifères retenus sur l'ensemble

⁶³ Au-delà de la 6^{ième} semaine de production d'organes fructifères les analyses statistiques n'ont pas pu être entreprises en raison du nombre de données parcellaires incalculables (absence de production de site fructifère)

de la campagne ou les organes fructifères des premières positions de branches fructifères retenus pour les quatre premières semaines⁶⁴ de production d'organes fructifères (Tableau 4).

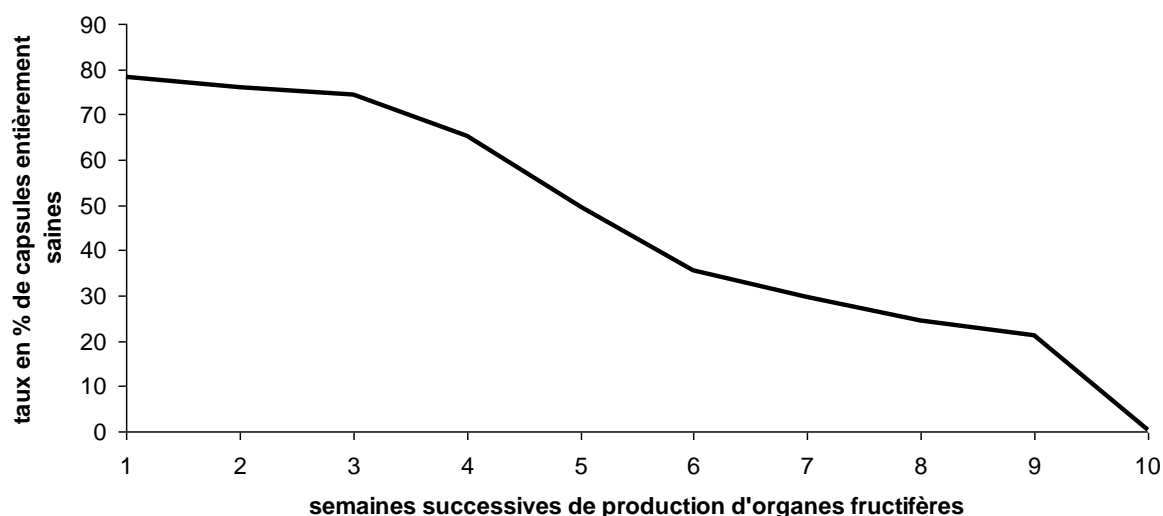


Figure 6 : taux moyen de capsules entièrement saines des organes fructifères retenus par semaine successive de production d'organes fructifères

Tableau 4 : taux de capsules entièrement saines pour les organes fructifères en première position de branche fructifère retenus sur l'ensemble de la campagne et par semaine de production d'organes fructifères en fonction des programmes d'interventions sur seuil

	taux de capsules entièrement saines en % des organes fructifères en première position de branche fructifère retenus et produits				
	sur l'ensemble de la campagne	au cours de la première semaine	au cours de la deuxième semaine	au cours de la troisième semaine	au cours de la quatrième semaine
PS	69,9	79,6	77,5	72,6	61,1
PSN1	70,7	78,3	78,2	74,7	66,3
PSN2	72,7	80,9	76,7	80,6	76,8
F programme	0,40	0,29	0,06	1,55	1,92
signification en %	67,9	75,4	93,8	22,8	16,2
CV en %	10,0	10,7	13,4	14,9	25,9
transformation	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p	arcsin√p

En terme de précocité de production mesurée par la date d'apparition la plus tardive des organes fructifères contribuant déjà à 50 %, 70 % et 90 % de la production totale de capsules entièrement saines en première position de branche fructifère aucune différence significative n'apparaît entre les programme d'interventions sur seuil (Tableau 5).

⁶⁴ les seules semaines de production d'organes fructifères pour lesquelles des analyses statistiques étaient possibles

Tableau 5 : date d'apparition (en JAL) la plus tardive des organes fructifères contribuant à 50 %, 70 % et 90 % de la production totale de capsules entièrement saines en première position de branche fructifère en fonction des programmes d'interventions sur seuil

	date d'apparition (en JAL) la plus tardive des organes fructifères contribuant déjà à x % de la production totale de capsules entièrement saines des premières positions de branches fructifères		
	50 %	70 %	90 %
PS	41,9	47,9	56,1
PSN1	43,6	49,8	58,4
PSN2	43,1	49,2	57,6
F programme	0,90	0,77	0,49
signification en %	42,2	47,5	62,3
CV en %	27,9	22,3	24,6

Même si en termes de production de coton graine par hectare, le programme PSN1 procure de manière significative les meilleurs résultats (Tableau 6), sur la base d'un prix d'achat du coton graine de 170 F CFA/kg et d'un coût moyen d'une intervention insecticide de 8 107 F CFA/ha⁶⁵, par hectare les produits diminués des coûts de protection ne sont pas statistiquement différents à 5% entre les programmes d'interventions sur seuil (Tableau 6). Toutefois on notera que l'avantage économique du programme d'interventions seuil PSN1 (+ 13,5 % de plus que les deux autres programmes d'interventions sur seuil) frôle de très peu la signification (Tableau 6)

Tableau 6 : rendement en coton graine et produit diminué des coûts de protection en fonction des programmes d'interventions sur seuil

	rendement en kg de coton graine par hectare	produit diminué des coûts de protection en F CFA par hectare
PS	1311 b	218740
PSN1	1521 a	246833
PSN2	1328 b	216154
F programme	4,27	3,29
signification en %	2,3	5,0
CV en %	16,3	16,5

5 Discussions et conclusion

Les nouveaux programmes d'interventions sur seuil se sont dans l'ensemble beaucoup mieux comportés qu'au cours des années précédentes. Ils conduisent certes à des consommations d'insecticides plus importantes que celles du programme actuel d'interventions sur seuil mais les économies d'insecticides par rapport à un programme d'interventions calendaires (6 applications) resteraient importantes : 76,7 % pour le programme PSN1 et 80,0 % pour le programme PSN2. Par ailleurs ils procurent un meilleur contrôle des chenilles de la capsule que le programme actuel d'interventions sur seuil ce qui n'avait pas encore été noté. Ce meilleur contrôle des chenilles de la capsule pourrait d'ailleurs être responsable de leurs bonnes performances de production (significativement

⁶⁵ pour l'année 2008, le coût de 8 107 F CFA/ha pour une intervention insecticide était décomposé en 4 507 F CFA d'achat d'un litre d'insecticide, 900 F CFA le coût des piles pour une application, 150 F CFA le coût de la main d'œuvre pour la réalisation d'une application et 2 550 F CFA le coût de l'amortissement et de l'entretien de l'appareil de traitement par application

meilleures avec le programme PSN1). Enfin ces nouveaux programmes d'interventions sur seuil n'entraînent pas de baisse de performances économiques malgré des interventions insecticides plus nombreuses. Enfin ils réduisent de manière importante le temps consacré aux observations de chenilles de la capsule.

Sur la base de quatre années d'études ces nouveaux programmes d'interventions sur seuil mériteraient d'être proposés aux producteurs pour apprécier l'intérêt qu'ils pourraient présenter pour eux par rapport au programme actuel d'interventions sur seuil.

ANALYSE DES OBSERVATIONS PHYTOSANITAIRES DE L'ENSEMBLE DES ETUDES DE LA CAMPAGNE 2009 POUR LES PARCELLES SEMEES A LA MEME DATE ET A LA MEME DENSITE DE PLANTATION

1 Analyse globale des réalisations avec des programmes d'interventions sur seuil

Au total 7 études ont été mises en place pour permettre d'accroître les performances biologiques, productives et économiques du programme actuel d'interventions sur seuil principalement en modifiant ses règles d'intervention contre les chenilles de la capsule, principaux ravageurs de la culture cotonnière au Mali.

Les parcelles devant recevoir des interventions sur seuil n'ont pas toutes été protégées : 37,6 % d'entre elles n'ont en effet reçu aucune application insecticide durant toute la campagne. Les autres parcelles n'ont en majorité reçu qu'une seule application insecticide (41,8 % de l'ensemble des parcelles devant être protégées par des interventions sur seuil). Cette intervention sur seuil a été réalisée au plus tôt au 44^{ième} JAL et au plus tard au 107^{ième} JAL : la date médiane se situant entre le 86^{ième} et le 93^{ième} JAL (Figure 1).

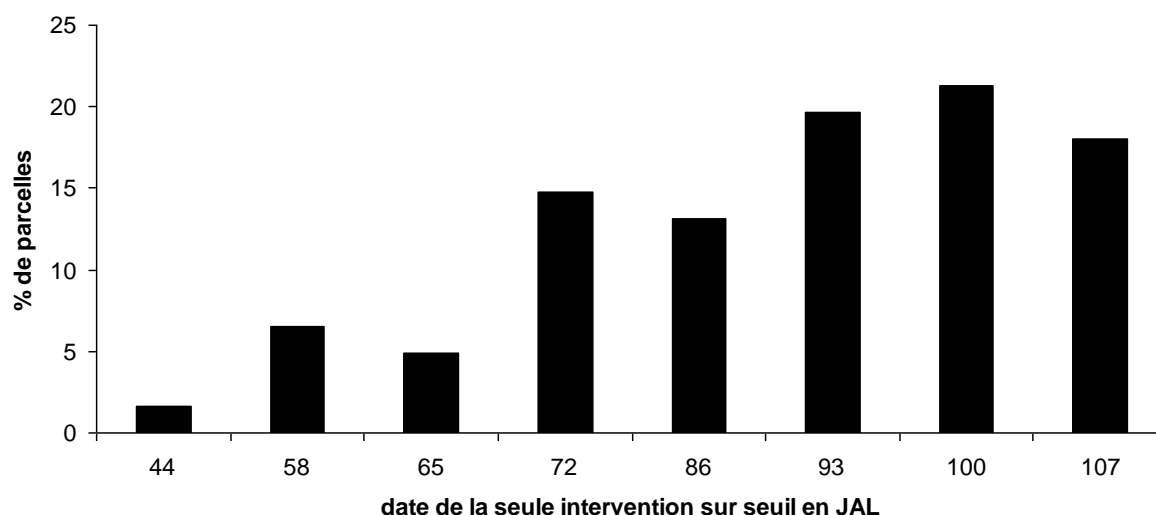


Figure 1 : distribution des parcelles n'ayant reçue qu'une seule intervention sur seuil en fonction de la date de réalisation de celle-ci

Pour les parcelles ayant reçu plusieurs interventions sur seuil (sur l'ensemble des parcelles devant être protégées par des interventions sur seuil 17,8 % ont reçu 2 interventions, 1,4 % 3 interventions et 1,4 % 4 interventions), l'écart entre la première et la dernière intervention sur seuil a varié de 7 à 63 jours : avec une valeur médiane comprise entre 21 et 28 jours (Figure 2).

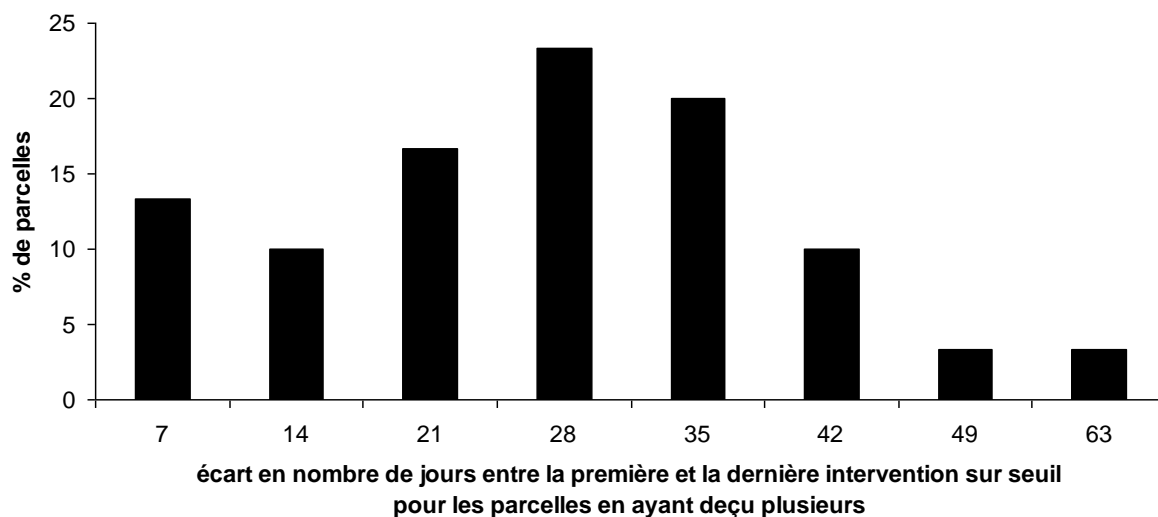


Figure 2 : distribution des parcelles ayant reçu plusieurs interventions sur seuil en fonction de l'écart en jours entre la première et la dernière intervention

2 Composition spécifique du complexe des chenilles de la capsule et dynamiques de ces ravageurs

Sur l'ensemble de la campagne (Figure 3) le complexe des chenilles de la capsule a été dominé par les espèces *Earias* spp suivie d'*Helicoverpa armigera* (Hübner) et de *Diparopsis watersi* (Rotschild).

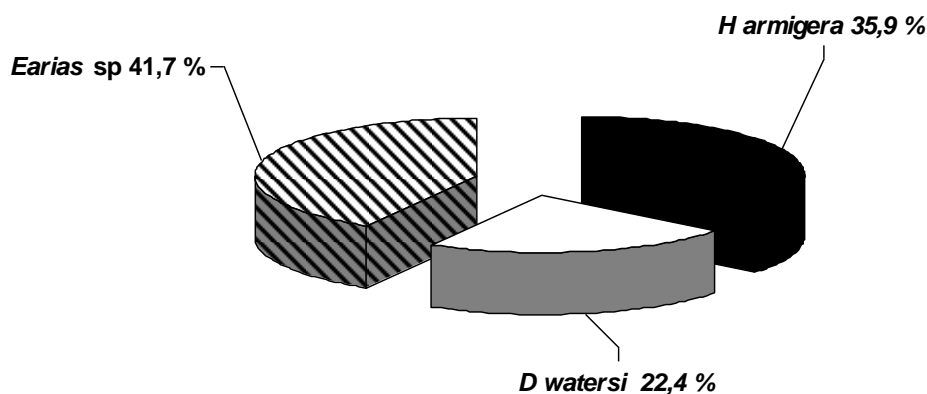


Figure 3 : importances relatives des différentes espèces dans les dénombrements de chenilles de la capsule sur l'ensemble de la campagne

Les espèces *Earias* spp ont dominé ce complexe au cours des 8 dates d'observation sur l'ensemble de la campagne et lorsqu'elles ne sont pas dominantes elles ont souvent été très proches de celle qui l'était et qui fut plus souvent *H. armigera* que *D. watersi* (Figure 4).

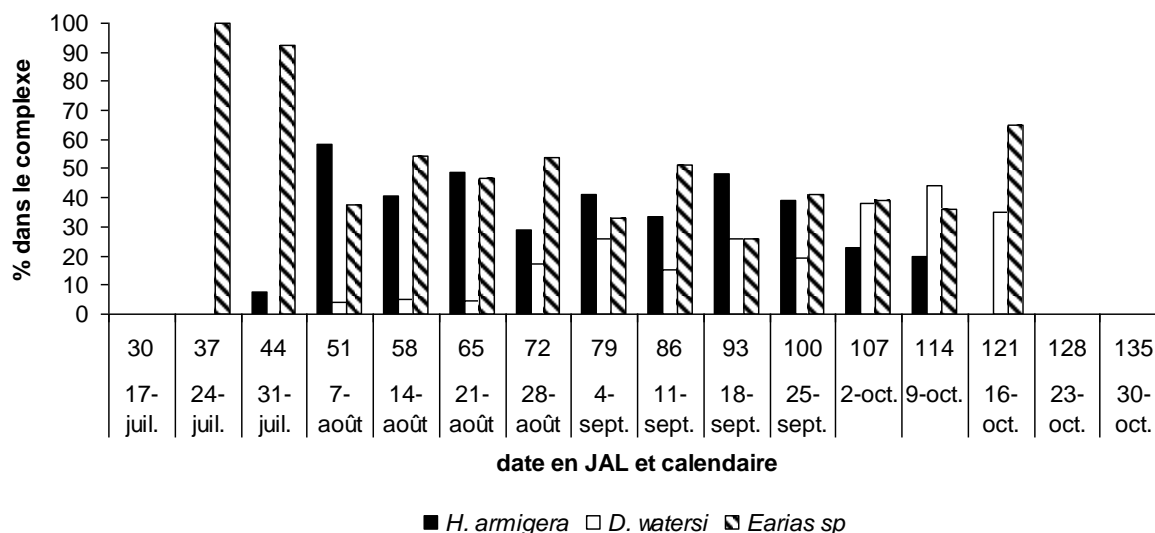


Figure 4 : évolution des importances relatives des différentes espèces dans les dénombrements de chenilles de la capsule au cours de la campagne

Toutes espèces confondues les infestations de chenilles de la capsule ont été croissantes du 30^{ième} au 93^{ième} JAL et, après un palier d'infestation maximale jusqu'au 107^{ième} JAL, elles ont commencé à régresser régulièrement (Figure 5). En moyenne ces infestations n'ont pas dépassé pas 8 chenilles pour 100 plants.

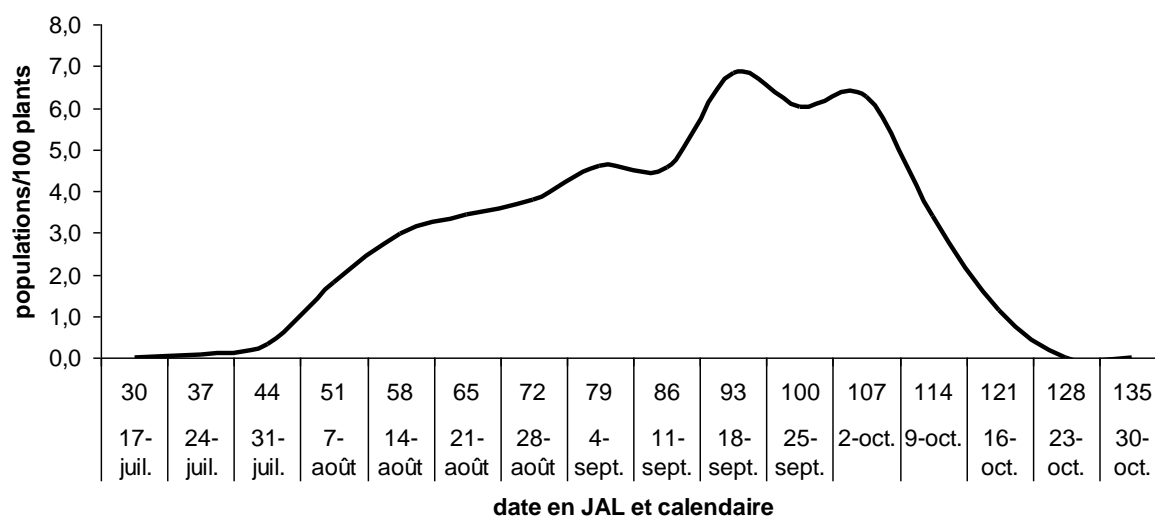


Figure 5 : dynamique de l'ensemble des chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) sur l'ensemble de la campagne

Par espèce l'évolution moyenne des infestations a suivi de manière générale celle de l'ensemble des espèces mais avec la présence de pics qui ne sont pas apparus en considérant l'ensemble des espèces (Figure 6). Ces pics traduisent probablement l'existence de plusieurs générations qui certainement se sont chevauchées pour chaque espèce : 3 pour *H. armigera* et *D. watersi* et peut être 4 pour les espèces *Earias spp* (Figure 6). On note également en fin de campagne une diminution des infestations d'*H. armigera* plus précoce de 14 jours que celles des deux autres espèces (Figure 6).

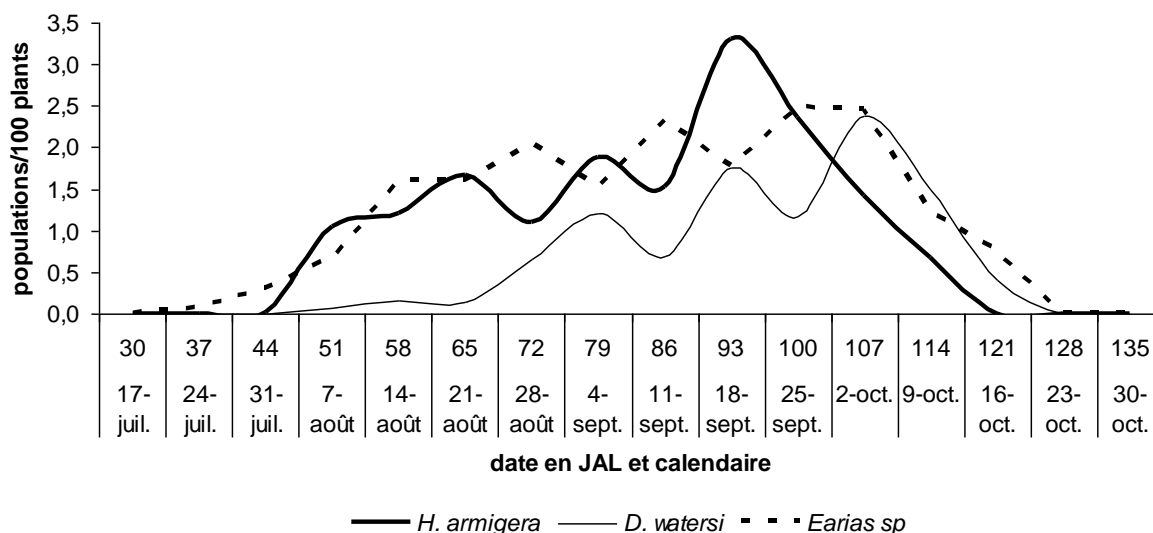


Figure 6 : dynamiques des infestations des différentes espèces de chenille de la capsule au cours de la campagne

3 Liaison entre les taux de rétention des organes fructifères et les infestations de chenilles de la capsule

La figure 7 montre l'évolution moyenne du taux de rétention des organes fructifères en fonction de la date d'apparition de ces organes sur le plant pour toutes les parcelles élémentaires des modalités des études ayant la même date de semis et la même densité de plantation. A l'exception des organes apparus entre le 77^{ème} et le 83^{ème} JAL (8^{ème} semaine de production) ce taux a chuté régulièrement du début à la fin de la campagne (Figure 7). La légère remontée de ce taux pour les organes apparus au cours de la 8^{ème} semaine a probablement pour origine la pluviométrie particulière de la fin de campagne : précipitations encore fréquentes et non négligeables en octobre et même novembre.

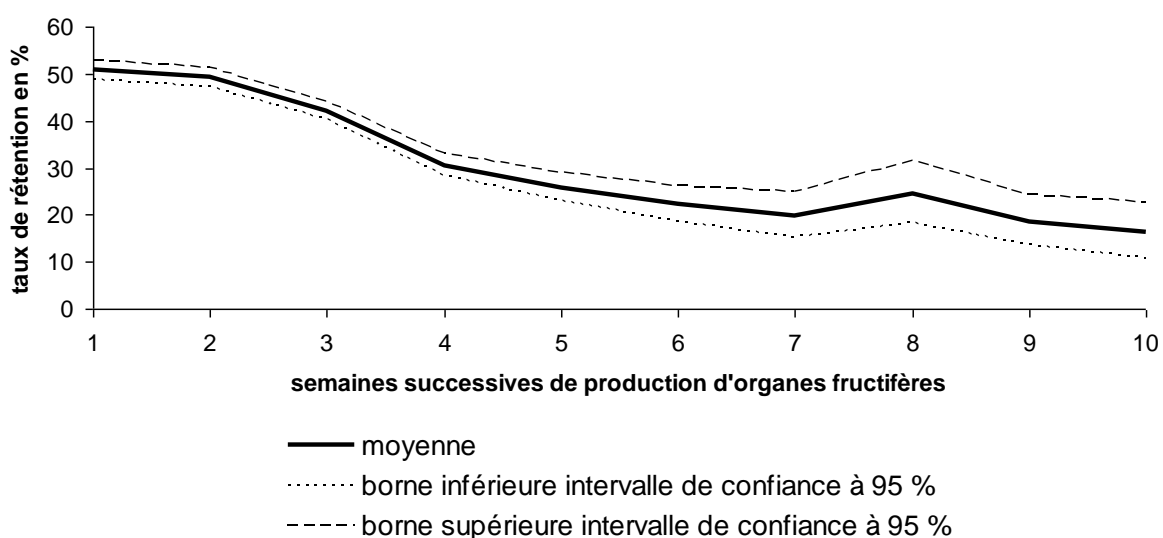


Figure 7 : évolution du taux de rétention des organes fructifères en fonction de leur date d'apparition sur le plant

En considérant qu'un organe fructifère n'est sensible à l'abscission pendant les 42 premiers jours de son développement, les coefficients de corrélation entre les taux de rétention des organes fructifères apparus pour chaque semaine du cycle productif et les infestations

hebdomadaires en chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) pendant les périodes de sensibilité de ces organes à l'abscission ont alors été calculés à partir des données des mêmes parcelles élémentaires. Ils sont présentés dans les annexes 1 à 8.

Pour l'ensemble des études et pour chaque étude, ces coefficients de corrélation sont en majorité négatifs (Tableau 1). Cependant ils sont très rarement significatifs même s'ils le sont plus souvent lorsqu'ils sont négatifs (Tableau 1). Les coefficients de corrélation négatifs et significatifs au moins à $p < 0,10$ ont été en moyenne plus fréquents avec les infestations rencontrées à la mi-août (soit au début des infestations de chenilles de la capsule), puis au début du mois de septembre (au moment du deuxième pic d'infestation d'*H. armigera* et du premier pic d'infestation de *D. watersi*) et à la mi-septembre (au moment du dernier pic d'infestation d'*H. armigera* et du deuxième pic d'infestation de *D. watersi*), même si des variations apparaissent en fonction des études (Tableau 2). Les productions d'organes fructifères les plus influencées significativement ($p < 0.10$ au minimum) dans leurs taux de rétention par les infestations de chenilles de la capsule furent celles apparues du 44^{ième} au 71^{ième} JAL soit de la 3^{ième} à la 6^{ième} semaine (Tableau 3). Les productions à partir de la 8^{ième} semaine du cycle productif sont peu influencées dans leurs taux de rétention par infestations de chenilles de la capsule (Tableau 3).

Tableau 1 : répartition des coefficients de corrélation

études	% de coefficients négatifs	% de coefficients positifs significatifs à			% de coefficients négatifs significatifs à		
		10%	5%	1%	10%	5%	1%
ensemble des études	77,6	0,0	0,0	0,0	4,5	7,5	6,0
seuil intégration	81,2	0,0	0,0	0,0	6,2	4,7	4,7
seuil date de semis	50,8	0,0	0,0	0,0	3,1	6,1	1,5
seuil écimage	57,6	3,0	0,0	1,5	3,0	3,0	1,5
seuil espèces	75,4	0,0	0,0	0,0	1,6	1,6	0,0
seuil larves	73,8	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0
seuil règles	63,6	0,0	0,0	0,0	1,5	6,1	0,0
seuil pontes	85,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tableau 2 : % de coefficients de corrélation négatifs et significatifs en fonction des semaines d'infestations en chenilles de la capsule

[illegible]

Tableau 3 : % de coefficients de corrélation négatifs et significatifs en fonction des semaines de production d'organes fructifères

Etudes	semaines successives de production d'organes fructifères									
	du 30 ^{ième}	du 37 ^{ième}	du 44 ^{ième}	du 51 ^{ième}	du 58 ^{ième}	du 65 ^{ième}	du 72 ^{ième}	du 79 ^{ième}	du 86 ^{ième}	du 93 ^{ième}
	au 36 ^{ième}	au 43 ^{ième}	au 50 ^{ième}	au 57 ^{ième}	au 64 ^{ième}	au 71 ^{ième}	au 78 ^{ième}	au 85 ^{ième}	au 92 ^{ième}	au 99 ^{ième}
	JAL	JAL	JAL	JAL	JAL	JAL	JAL	JAL	JAL	JAL
ensemble des études	16,7	0,0	28,6	28,6	42,9	42,9	14,3	0,0	0,0	0,0
seuil intégration	0,0	16,7	42,9	28,6	14,3	0,0	42,9	0,0	0,0	0,0
seuil date de semis	25,0	40,0	16,7	14,3	28,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
seuil écimage	0,0	0,0	0,0	42,9	0,0	28,6	0,0	0,0	0,0	0,0
seuil espèces	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	14,3	0,0	0,0	0,0	0,0
seuil larves	0,0	0,0	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
seuil règles	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	28,6	0,0	14,3	16,7	0,0
seuil pontes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Si fort logiquement des liaisons négatives et significatives sont majoritairement apparues, les variations d'infestations en chenilles de la capsule n'expliquent au maximum que 47,3 % des variations dans les taux de rétention (annexe 2). D'autres causes d'abscission (parasitaires ou non) sont peut être à rechercher. Toutefois elles ne peuvent pas résider dans les itinéraires techniques suivis (en dehors de la protection phytosanitaire) ou les conditions climatiques puisqu'ils ont été identiques pour toutes les parcelles.

Lorsque l'on examine l'évolution du taux de rétention des organes fructifères par semaine successive de production en fonction du type de protection phytosanitaire suivi au niveau de chaque parcelle élémentaire (interventions calendaires vs. interventions sur seuil) on observe de la 3^{ième} (au cours de laquelle les interventions calendaires ont débuté) à la 7^{ième} semaine de production des différences hautement significatives (test de Student bilatéral avec des variances inégales après transformation en arcsin√p des taux de rétention des organes fructifères) en faveur des interventions calendaires (Figure 8). Le type de protection phytosanitaire semble bien avoir eu une influence sur les taux de rétention des organes fructifères : les interventions sur seuil apparaissant alors moins efficaces que les interventions calendaires.

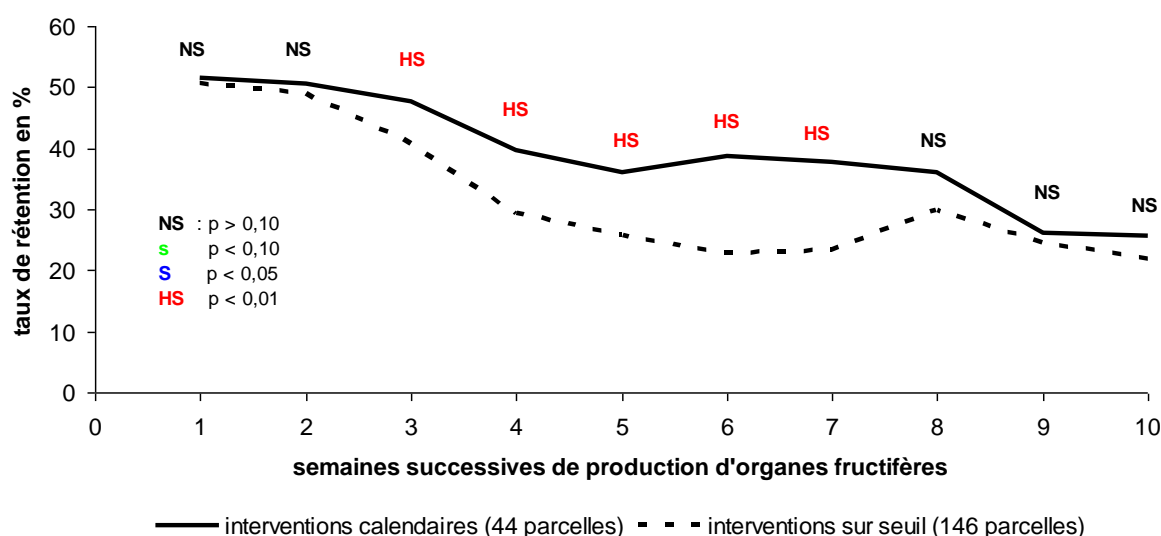


Figure 8 : évolution des taux de rétention des organes fructifères par semaine successive de production en fonction du type de protection phytosanitaire appliqué (test de Student bilatéral avec des variances inégales)

Cependant, on ne note pas d'effet particulier du nombre d'interventions sur seuil sur les taux de rétention des organes fructifères produits au cours des différentes semaines et les taux de rétention en l'absence de toute intervention sur seuil ne sont pas les plus mauvais (Tableau 4).

Tableau 4 : influence du nombre d'interventions sur seuil sur les taux de rétention d'organes fructifères produits au cours de semaines successives

nombre d'interventions sur seuil par parcelle	nombre de parcelles	semaines successives de production d'organes fructifères									
		du 30 ^{ième}	du 37 ^{ième}	du 44 ^{ième}	du 51 ^{ième}	du 58 ^{ième}	du 65 ^{ième}	du 72 ^{ième}	du 79 ^{ième}	du 86 ^{ième}	du 93 ^{ième}
		au 36 ^{ième}	au 43 ^{ième}	au 50 ^{ième}	au 57 ^{ième}	au 64 ^{ième}	au 71 ^{ième}	au 78 ^{ième}	au 85 ^{ième}	au 92 ^{ième}	au 99 ^{ième}
		JAL	JAL	JAL	JAL	JAL	JAL	JAL	JAL	JAL	JAL
0	62	52,7	50,1	40,7	27,8	25,9	20,3	25,5	28,5	21,4	18,2
1	55	49,0	47,4	40,5	28,8	25,0	23,5	20,9	30,7	27,9	25,3
2	24	48,8	48,6	39,7	32,0	24,3	25,8	24,5	35,5	20,3	19,7
3	3	57,0	58,0	56,9	49,1	46,7	31,7	24,8	11,4	33,3	50,0
4	2	45,4	39,7	37,7	22,2	17,2	18,6	0,0	0,0	23,3	16,7

Cependant on note que si une intervention sur seuil a été réalisée avant le 66^{ième} JAL les taux de rétention des organes fructifères produits au cours de semaines de production au milieu du cycle fructifère (Figure 9) sont significativement meilleurs qu'en l'absence d'intervention sur seuil ($p < 0,05$ ou $p < 0,10$). Par contre cela n'est pas observé si la première intervention sur seuil a été réalisée après le 66^{ième} JAL (Figure 10).

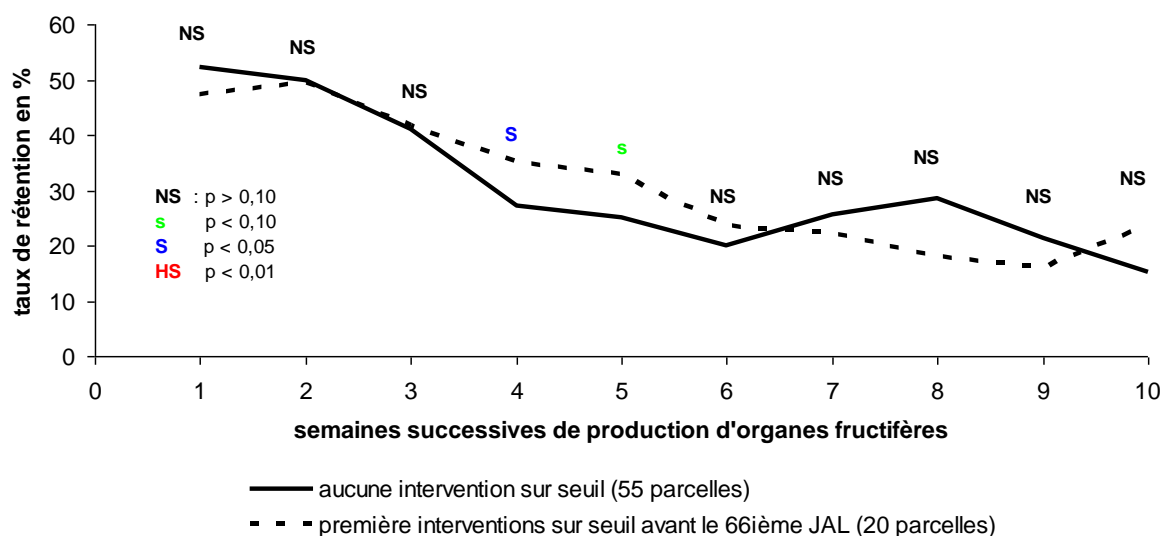


Figure 9 : évolution des taux de rétention des organes fructifères par semaine successive de production en l'absence d'intervention sur seuil ou avec une intervention sur seuil avant le 66^{ième} JAL (test de Student bilatéral avec des variances inégales)

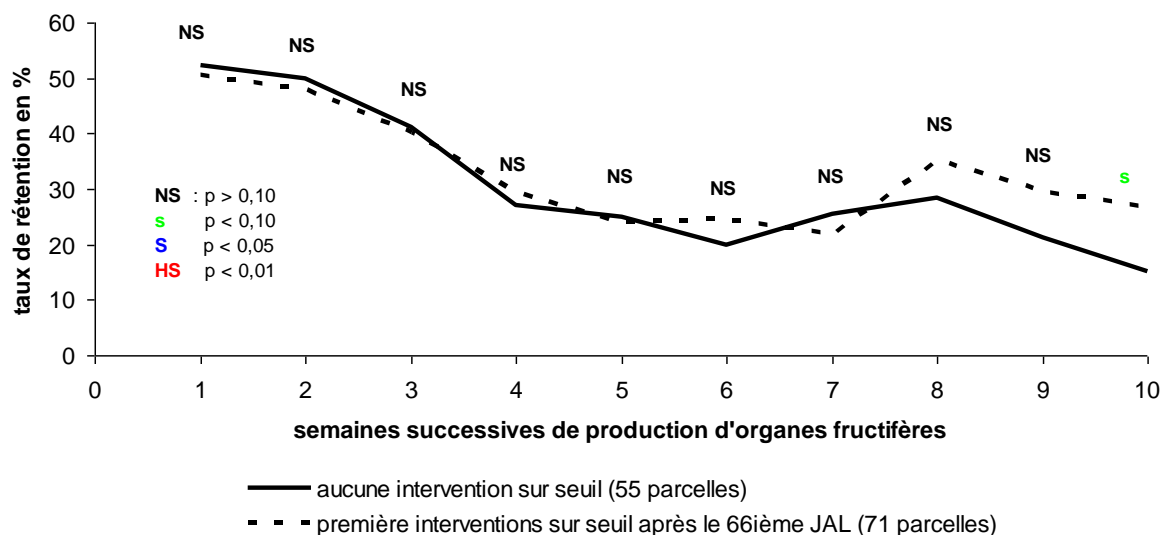


Figure 10 : évolution des taux de rétention des organes fructifères par semaine successive de production en l'absence d'intervention sur seuil ou avec une première intervention sur seuil après le 66^{ième} JAL (test de Student bilatéral avec des variances inégales)

Par rapport à l'absence d'intervention sur seuil, des tendances identiques sont notées lorsque l'on prend la date du 87^{ième} JAL à savoir : une amélioration significative du taux de rétention des organes fructifères produits au cours la 4^{ième} semaine du cycle productif lorsqu'une intervention sur seuil est réalisée avant cette date (Figure 11), cet avantage n'étant plus observé lorsque la première intervention sur seuil est réalisée après le 87^{ième} JAL (Figure 12).

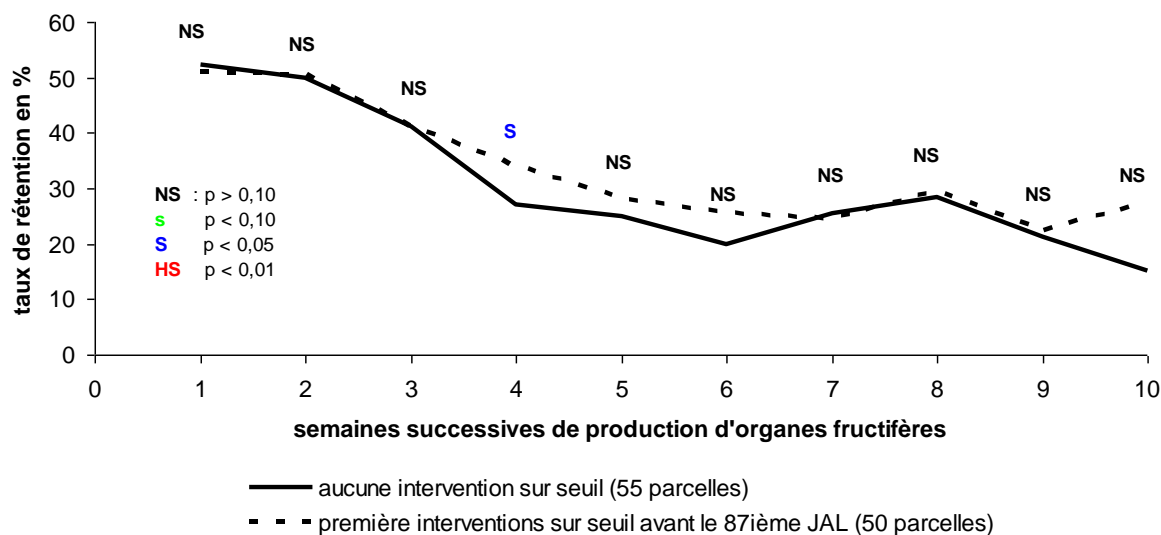


Figure 11 : évolution des taux de rétention des organes fructifères par semaine successive de production en l'absence d'intervention sur seuil ou avec une intervention sur seuil avant le 87^{ième} JAL (test de Student bilatéral avec des variances inégales)

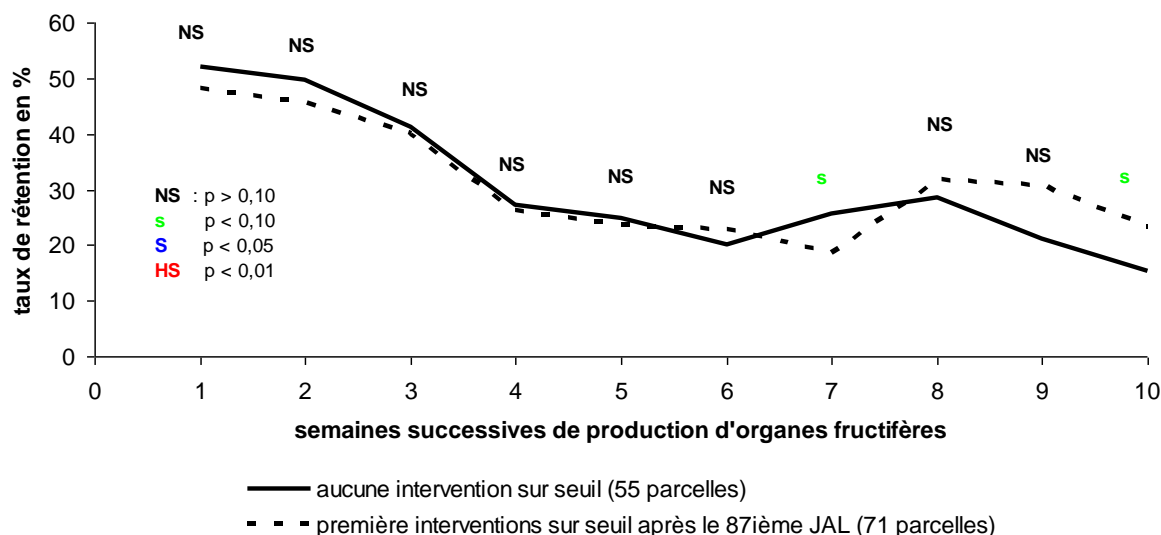


Figure 12 : évolution des taux de rétention des organes fructifères par semaine successive de production en l'absence d'intervention sur seuil ou avec une première intervention sur seuil après le 87^{ième} JAL (test de Student bilatéral avec des variances inégales)

En comparant les taux de rétention observés sur les parcelles ayant reçu une intervention sur seuil avant le 66^{ième} JAL (Figure 13) ou ceux des parcelles ayant reçu une intervention sur seuil avant le 87^{ième} JAL (Figure 14) à ceux des parcelles ayant reçu des interventions calendaires on note alors des améliorations par rapport aux résultats présentés dans la figure 8. Des différences significatives avec les interventions calendaires sont toujours notées mais elles ne sont plus hautement significatives (comme au niveau de la figure 8) que la date du premier traitement sur seuil ait lieu avant le 66^{ième} ou avant le 87^{ième} JAL (Figures 13 et 14). De plus ces différences, lorsque la première intervention sur seuil a lieu avant le 66^{ième} JAL, concernent surtout la deuxième moitié du cycle productif du cotonnier (Figure 13) et les améliorations apparaissent meilleures lorsque la première intervention sur seuil est réalisée avant le 66^{ième} que lorsque l'on recule cette date au 87^{ième} JAL puisque seules 3 semaines (au lieu de 4) de production d'organes fructifères présentent des taux de rétention significativement inférieurs ($p < 0,05$) à ceux obtenus avec des interventions calendaires.

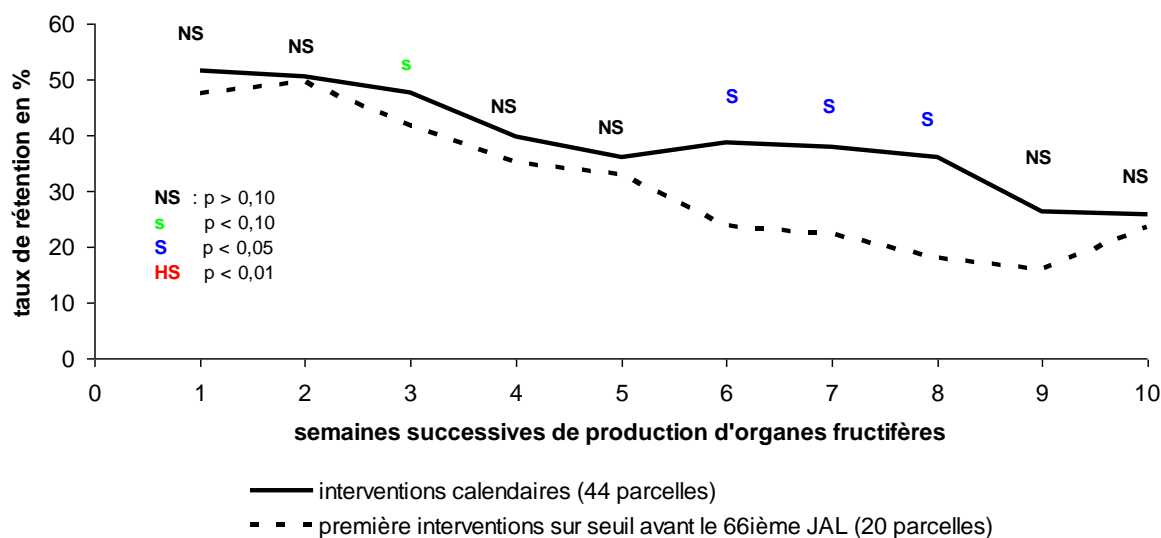


Figure 13 : évolution des taux de rétention des organes fructifères par semaine successive de production avec des interventions calendaires ou avec une intervention sur seuil avant le 66^{ième} JAL (test de Student bilatéral avec des variances inégales)

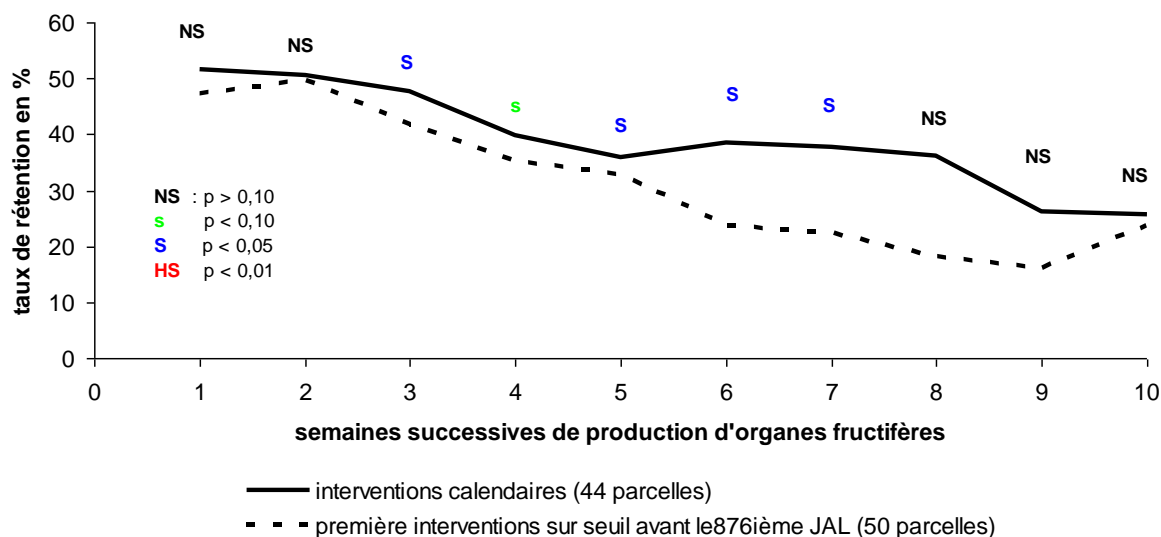


Figure 14 : évolution des taux de rétention des organes fructifères par semaine successive de production avec des interventions calendaires ou avec une intervention sur seuil avant le 87^{ième} JAL (test de Student bilatéral avec des variances inégales)

La date de la première intervention sur seuil semble donc importante pour l'obtention de bons taux de rétention des organes fructifères avec ce type de protection. Si on examine alors les types de programmes d'interventions sur seuil ayant permis la réalisation d'une intervention avant le 66^{ième} ou le 87^{ième} JAL on s'aperçoit qu'accorder plus d'importance aux jeunes stades larvaires dans les dénombrements de chenilles (quelle que soit la dose d'insecticide employée) offre les meilleures garanties de réaliser cette intervention avant ces dates sans pour autant augmenter fortement le nombre total d'interventions sur seuil sur l'ensemble de la campagne par rapport au programme actuel d'interventions sur seuil (Tableau 5). Les simplifications de la règle de décision pour intervenir contre ces ravageurs viendraient en deuxième position pour atteindre cet objectif de réaliser une intervention sur seuil avant ces dates (Tableau 5). Mais, celle qui consiste à n'observer au maximum que 12 plants (en décidant d'intervenir dès l'observation d'une seule chenille) conduit à presque doubler le nombre d'interventions sur seuil par rapport au programme actuel d'interventions sur seuil (Tableau 5). Il en est de même si on accorde plus d'importance à l'espèce *H. armigera* dans les dénombrements (Tableau 5). A l'inverse, et contre toutes attentes, la modulation du seuil d'intervention contre ces ravageurs (seuil croissant du début à la fin de la campagne) ne semble pas offrir pas des perspectives très intéressantes pour atteindre cet objectif de réalisation de la première intervention sur seuil avant ces dates (Tableau 5).

Tableau 5 : taux de parcelles concernées par une première intervention avant le 66^{ième} et le 87^{ième} JAL (en %) et nombre moyen d'interventions sur seuil par campagne en fonction des programmes d'interventions sur seuil étudiés

date de la première intervention		nouvelles règles d'interventions sur seuil						programme actuel d'interventions sur seuil	
		simplification		seuil accordant plus d'importance			seuil modulé		
		12 plants	9 plants	à <i>H. armigera</i>	aux jeunes stades	aux stades âgés			
66 ^{ième}	avant le JAL	taux de parcelles concernées	31,3	6,3	8,3	66,7	16,7	8,3	3,7
		nombre moyen d'interventions	2,4	2,0	4,0	1,8	1,0	1,0	1,5
87 ^{ième}	avant le JAL	taux de parcelles concernées	50,0	37,5	41,7	83,3	33,3	16,7	27,8
		nombre moyen d'interventions	2,3	1,8	2,2	1,7	1,5	1,3	1,3

4 Liaison entre les taux de capsules entièrement saines et les infestations de chenilles de la capsule

La figure 15 montre l'évolution moyenne du taux de capsules entièrement saines en fonction de la date d'apparition des organes fructifères sur le plant pour toutes les parcelles élémentaires des modalités des études ayant la même date de semis et la même densité de plantation. Comme pour le taux de rétention des organes fructifères et donc à l'exception des organes apparus entre le 77^{ième} et le 83^{ième} JAL (8^{ième} semaine de production) le taux moyen de capsules entièrement saines a chuté régulièrement du début à la fin de la campagne (Figure 15). La légère remontée de ce taux pour les organes apparus au cours de la 8^{ième} semaine correspond à celle observée pour le taux moyen de rétention (Figure 5) mais elle ne peut pas s'expliquer uniquement par la pluviométrie particulière de la campagne : précipitations encore fréquentes et non négligeables en octobre et même novembre.

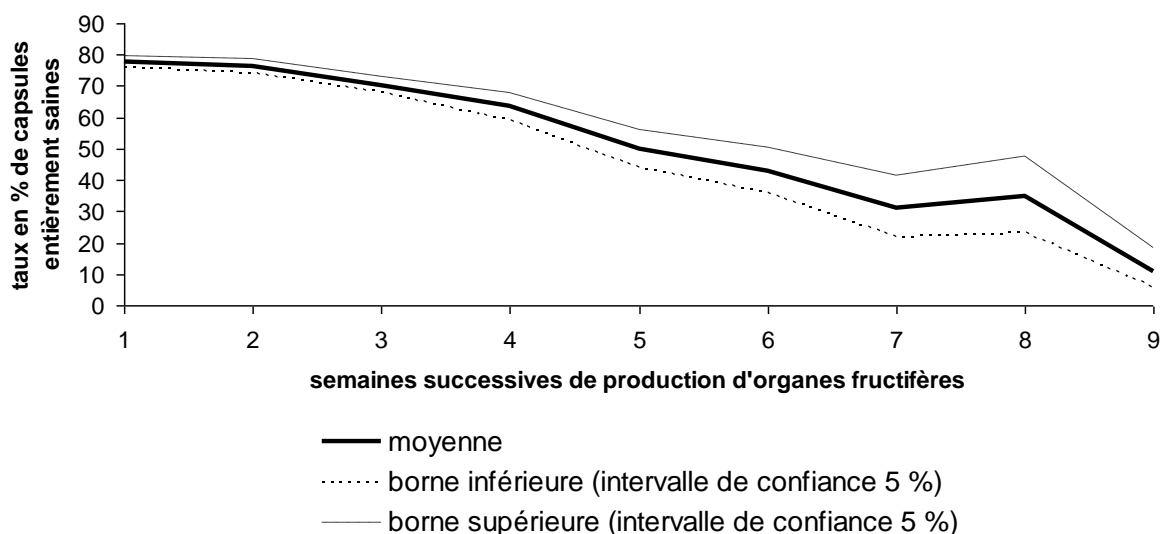


Figure 15 : évolution du taux moyen de capsules entièrement saines en fonction de la date d'apparition des organes fructifères sur le plant

Les coefficients de corrélation entre ces taux de capsules entièrement saines et les infestations hebdomadaires en chenilles de la capsule ont été calculés pour chaque semaine de production d'organes fructifères en ne considérant que les infestations présentes après la période de sensibilité de ces organes à l'abscission. Ainsi seules les infestations au-delà du 28 août furent considérées. Par ailleurs les infestations de chenilles de la capsule étant nulles aux deux dernières dates d'observation, seules les 7 premières semaines de production d'organes fructifères ont été prises en compte.

Comme pour les taux de rétention mais à l'exception d'une étude cette fois, ces coefficients de corrélation sont en majorité négatifs (Tableau 6). Cependant ils sont moins souvent significatifs (même à $p < 0,10$) que pour les taux de rétention de sorte qu'au maximum 37,0 % des variations dans les taux de capsules entièrement saines peuvent s'expliquer par les variations d'infestations en chenilles de la capsule (annexes 11 et 12). Ce sont surtout les infestations, présentes pendant la deuxième quinzaine du mois de septembre jusqu'au début octobre, qui affectent le plus souvent significativement le taux de capsules entièrement saines (Tableau 7) et la production d'organes fructifères de la 3^{ième} semaine du cycle productif apparaît plus souvent significativement influencée pour cette caractéristique de production par les infestations de chenilles de la capsule (tableau 8).

Tableau 6 : répartition des coefficients de corrélation en fonction de leur valeur et de leur signification

études	% de coefficients négatifs	% de coefficients positifs significatifs à			% de coefficients négatifs significatifs à		
		10%	5%	1%	10%	5%	1%
ensemble des études	77,6	0,0	0,0	0,0	4,5	7,5	6,0
seuil intégration	81,2	0,0	0,0	0,0	6,2	4,7	4,7
seuil date de semis	50,8	0,0	0,0	0,0	3,1	6,1	1,5
seuil écimage	57,6	3,0	0,0	1,5	3,0	3,0	1,5
seuil espèces	75,4	0,0	0,0	0,0	1,6	1,6	0,0
seuil larves	73,8	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0
seuil règles	63,6	0,0	0,0	0,0	1,5	6,1	0,0
seuil pontes	85,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tableau 7 : % de coefficients de corrélation négatifs et significatifs en fonction des semaines d'infestations en chenilles de la capsule

études	infestations en chenilles de la capsule du								
	04-sept	11-sept	18-sept	25-sept	02-oct	09-oct	16-oct	23-oct	30-oct
ensemble des études	0,0	0,0	33,3	25,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0
seuil intégration	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0
seuil date de semis	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	0,0	0,0
seuil écimage	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	16,7	0,0	0,0
seuil espèces	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0	16,7	0,0	0,0	0,0
seuil larves	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
seuil règles	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
seuil pontes	0,0	0,0	33,3	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tableau 8 : % de coefficients de corrélation négatifs et significatifs en fonction des semaines de production d'organes fructifères

études	semaines successives de production d'organes fructifères									
	du 30 ^{ième}	du 37 ^{ième}	du 44 ^{ième}	du 51 ^{ième}	du 58 ^{ième}	du 65 ^{ième}	du 72 ^{ième}	du 79 ^{ième}	du 86 ^{ième}	du 93 ^{ième}
	au 36 ^{ième}	au 43 ^{ième}	au 50 ^{ième}	au 57 ^{ième}	au 64 ^{ième}	au 71 ^{ième}	au 78 ^{ième}	au 85 ^{ième}	au 92 ^{ième}	au 99 ^{ième}
	JAL	JAL	JAL	JAL	JAL	JAL	JAL	JAL	JAL	JAL
ensemble des études	0,0	0,0	60,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
seuil intégration	0,0	0,0	0,0	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
seuil date de semis	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
seuil écimage	14,3	33,3	60,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
seuil espèces	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0
seuil larves	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
seuil règles	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
seuil pontes	0,0	0,0	40,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

D'ailleurs ce n'est que pour les organes fructifères produits au cours de la 3^{ième} semaine du cycle productif qu'une différence significative (à $p < 0,10$) apparaît dans les taux de capsules entièrement saines entre les parcelles devant être protégées par des interventions sur seuil et les parcelles protégées par des interventions calendaires (Figure 16). Parmi les parcelles devant être protégées par des interventions sur seuil des différences significatives apparaissent en faveur de celles qui ont reçu au moins une intervention sur seuil par rapport à celles qui restèrent non traitées pendant toute la campagne (Figure 17). Cet avantage

significatif ne se limite d'ailleurs pas à la 3^{ème} semaine de production d'organes fructifères (Figure 17). Par ailleurs les taux de capsules entièrement saines des parcelles ayant reçu au moins une intervention sur seuil ne sont pas statistiquement différents de ceux des parcelles protégées par des interventions calendaires (Figure 18) et l'amélioration du taux de capsules entièrement saines avec la réalisation d'interventions sur seuil ne semble pas liée au nombre de ces interventions (Figure 19).

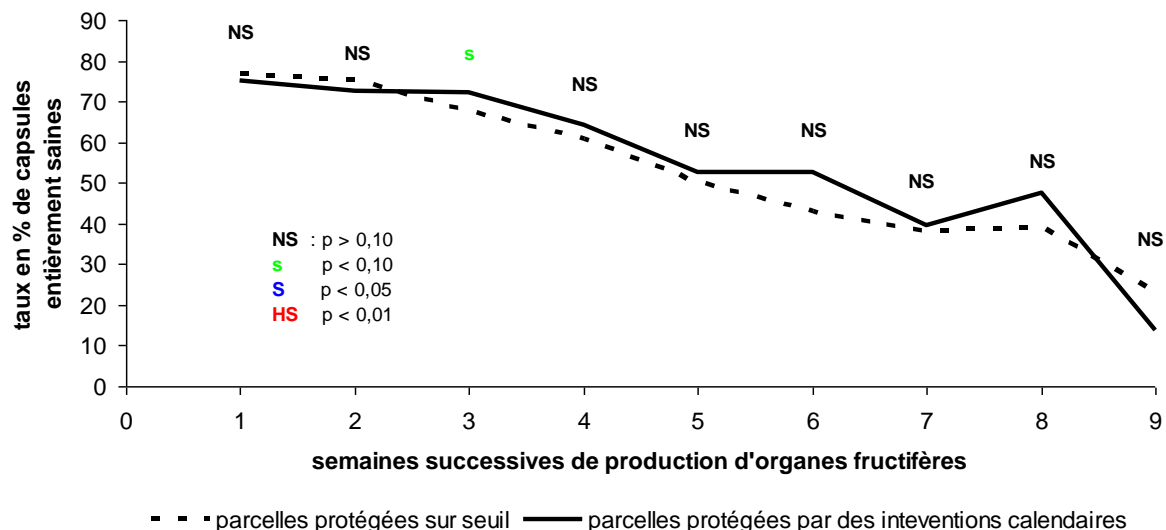


Figure 16 : évolution des taux de capsules entièrement saines par semaine successive de production en fonction du type de protection phytosanitaire appliqué (test de Student bilatéral avec des variances inégales)

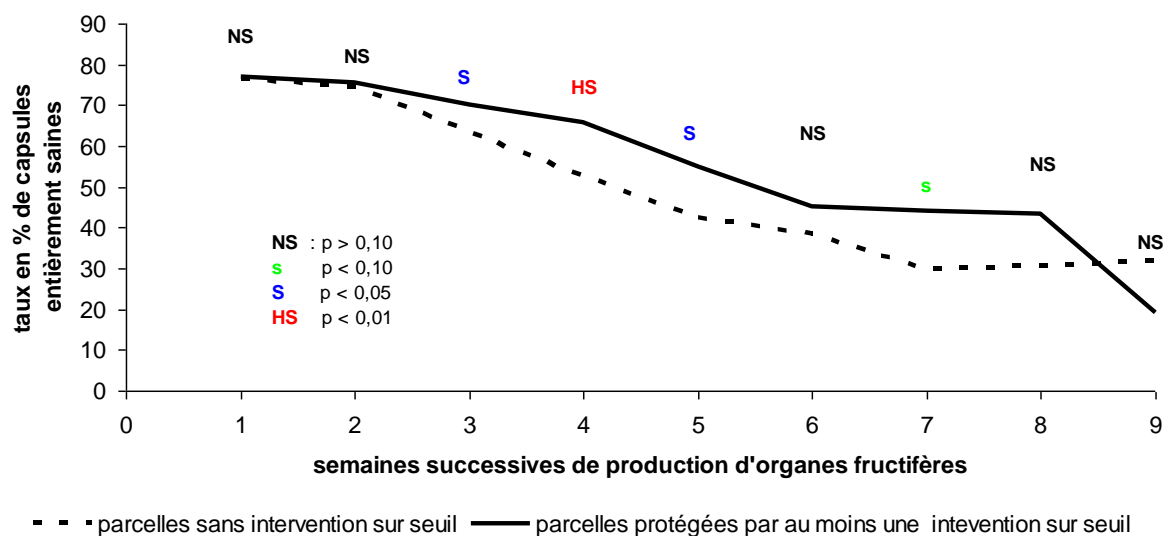


Figure 17 : évolution des taux de capsules entièrement saines par semaine successive de production selon qu'il ait eu ou non au moins une application sur seuil (test de Student bilatéral avec des variances inégales)

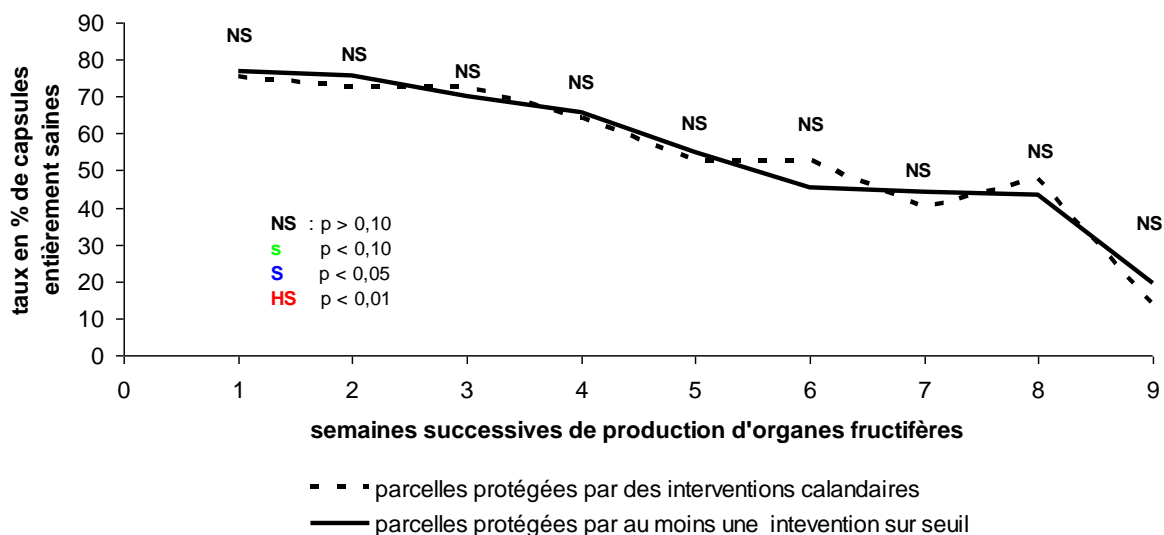


Figure 18 : évolution des taux de capsules entièrement saines par semaine successive de production avec des interventions calendaires ou avec au moins une intervention sur seuil (test de Student bilatéral avec des variances inégales)

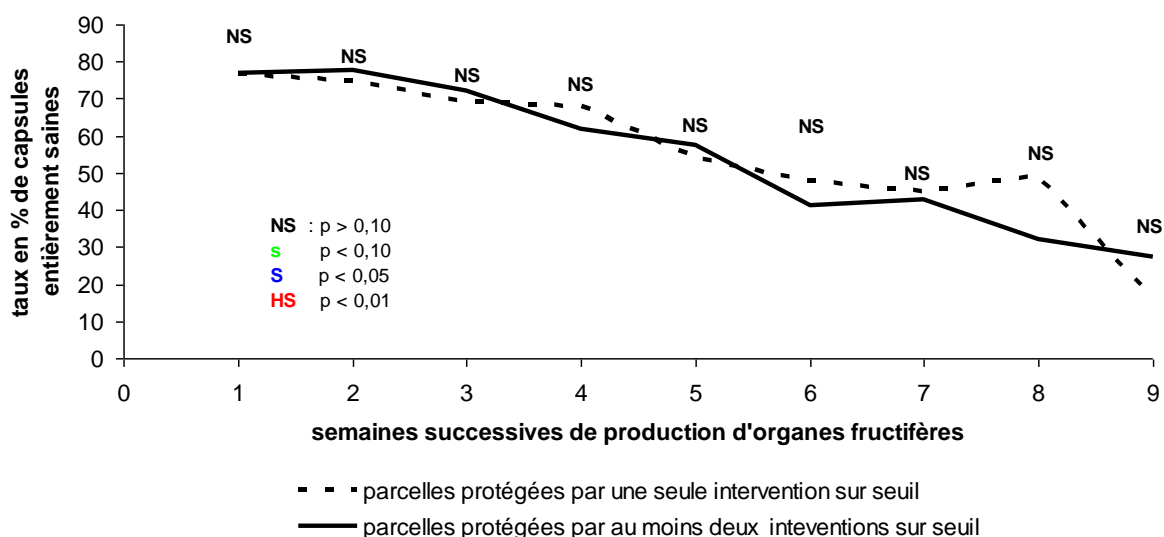


Figure 19 : évolution des taux de capsules entièrement saines par semaine successive de production avec une intervention sur seuil ou avec au moins deux interventions sur seuil (test de Student bilatéral avec des variances inégales)

Ainsi la réalisation d'une intervention sur seuil semble nécessaire et suffisante pour obtenir des taux de capsules entièrement saines comparables à ceux obtenus avec des interventions calendaires sur toute la durée du cycle productif. Enfin il semble préférable de réaliser cette intervention entre le 66^{ième} et le 87^{ième} JAL soit avant les derniers pics d'infestation en chenilles de la capsule (Figures 6, 20 et 21).

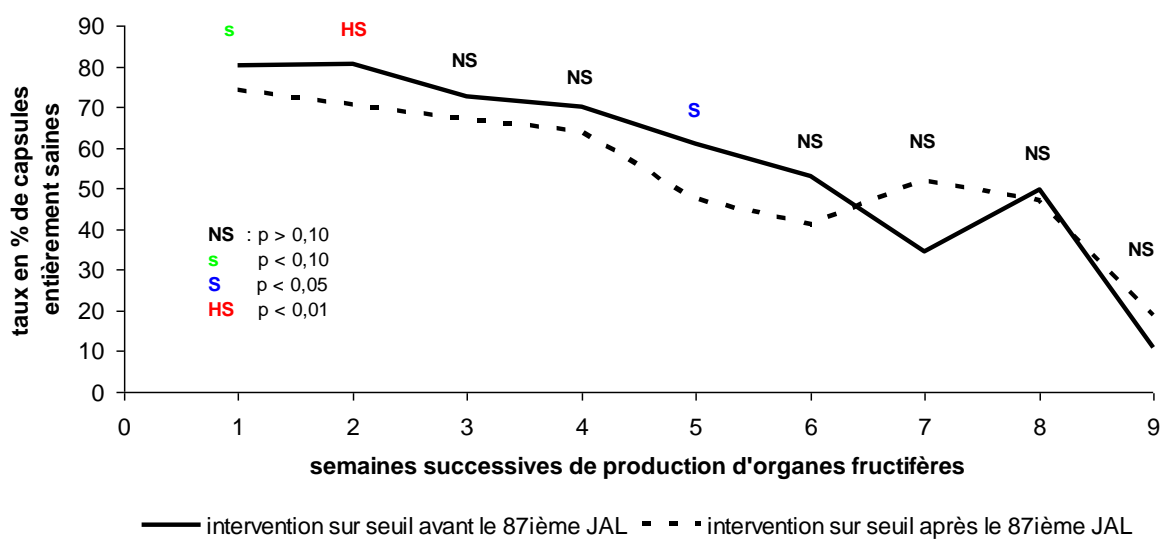


Figure 20 : évolution des taux de capsules entièrement saines par semaine successive de production avec une seule intervention sur seuil mais en fonction de sa date de réalisation (test de Student bilatéral avec des variances inégales)

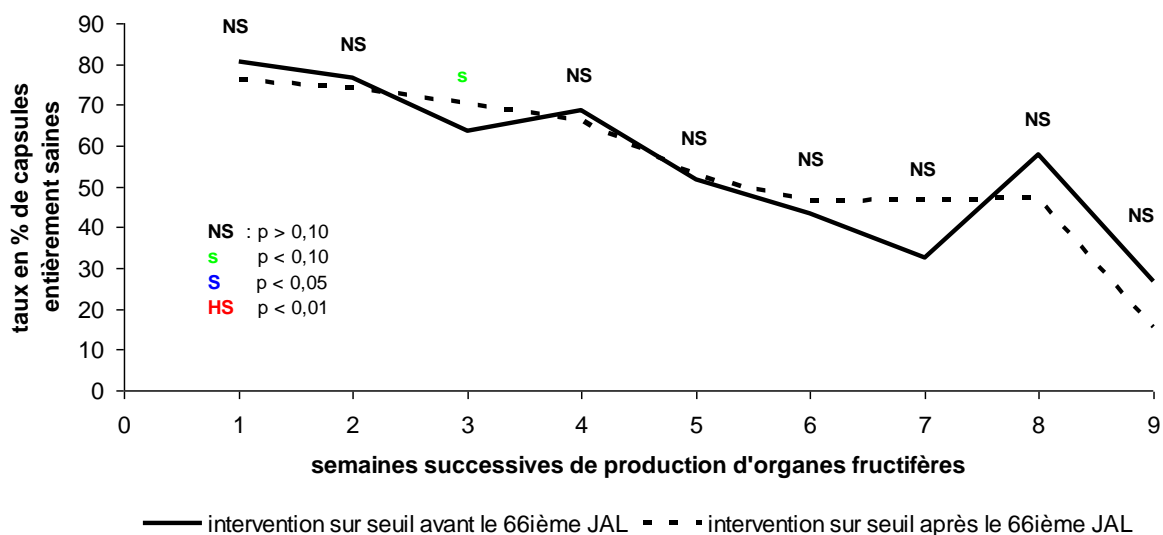


Figure 21 : évolution des taux de capsules entièrement saines par semaine successive de production avec une seule intervention sur seuil mais en fonction de sa date de réalisation (test de Student bilatéral avec des variances inégales)

Cette conclusion pourrait être considérée comme très proche de celle faite à propos des liaisons entre taux de rétention des organes fructifères et infestations de chenilles de la capsule. Toutefois elle doit être considérée comme indépendante car pour les 4 premières semaines de production d'organes fructifères (qui peuvent concernées par des améliorations du taux de capsules entièrement saines) aucun coefficient de corrélation n'est significatif entre les taux de rétention et le taux de capsules entièrement saines (Tableau 9).

Tableau 9 : coefficients de corrélation entre taux de capsules entièrement saines et taux de rétention des organes fructifères pour les différentes semaines du cycle productif (**significatif à 10 %**, **significatif à 5 %** et **significatif à 1 %**)

semaines de production d'organes fructifères								
30-36 JAL	37-43JAL	44-50 JAL	51-57JAL	58-64 JAL	65-71 JAL	72-78 JAL	79-85 JAL	86-92 JAL
0,104	0,058	0,010	0,104	0,251	0,327	0,251	0,187	0,081

5 Conclusions

Ces analyses, qui n'ont été possibles que grâce à la mise en place des 7 études à la même date et, en dehors de la protection phytosanitaire au respect d'un même itinéraire technique (annexe 17), montrent l'intérêt phytosanitaire des analyses, avant la récolte, de la production à l'échelle de plants. Elles apportent un éclairage nouveau à propos de programmes d'interventions sur seuil qui ne pouvait pas apparaître aussi nettement au niveau des analyses individuelles de chaque étude.

Qu'il s'agisse du taux de rétention des organes fructifères ou du taux de capsules entièrement saines, des liaisons négatives avec les infestations de chenilles de la capsule sont majoritairement apparues. Ce résultat n'est pas surprenant puisque ces ravageurs provoquent des chûtes d'organes fructifères et peuvent partiellement endommager les capsules qui ne sont plus sujettes à l'abscission.

Toutefois la fréquence et le degré des liaisons significatives sont faibles. Ainsi, des facteurs autres que les variations dans les infestations en chenilles de la capsule sont probablement intervenus pour faire varier les taux de rétention des organes fructifères et les taux de capsules entièrement saines entre parcelles.

Si les abscissions d'origine physiologique sont en général beaucoup plus importantes que les abscissions provoquées par des ravageurs, toutes les causes physiologiques de l'abscission peuvent être difficilement impliquées pour expliquer les variations de taux de rétention des organes fructifères entre les parcelles car elles ont toutes connu le même itinéraire technique (en dehors de la protection phytosanitaire) et le même environnement climatique (pluviométrie en particulier). Par contre il n'est pas impossible que l'hétérogénéité des sols de la station de Farako puisse être à l'origine de variations dans les taux de rétention des organes fructifères puisque pour les parcelles ayant reçu des interventions calendaires les coefficients de variation sont élevés pour les rendements (24,1 %), le nombre de branches fructifères par plant (20,9 %) et le nombre de capsules entièrement saines par plant (37,4 %). Des causes phytosanitaires autres que les chenilles de la capsule ne doivent cependant pas être exclues en raison des différences hautement significatives observées dans les taux de rétention des organes fructifères entre les parcelles protégées par des interventions calendaires et celles protégées par des interventions sur seuil. La(es) nature(s) des matières actives employée(s) dans les deux cas étant identique(s), seule la fréquence et/ou le nombre d'interventions pourraient être à l'origine d'actions différentielles vis-à-vis de ces autres ravageurs (jassides et mirides en particulier) provoquant des abscissions.

En ce qui concerne les facteurs responsables des variations de taux de capsules entièrement saines autres que les infestations de chenilles de la capsule, aucune hypothèse ne peut être faite car les analyses de production à l'échelle de plant n'ont pas distingué les autres catégories de capsules : capsules pourries, capsules momifiées et capsules partiellement saines. Mais les différences de taux de capsules entièrement saines entre parcelles protégées par des interventions calendaires et parcelles protégées par des interventions sur seuil étant relativement faibles, il est peu probable que des causes phytosanitaires soient prioritairement à l'origine des variations observées pour cette

caractéristique de la production. D'ailleurs la conclusion des analyses faites à propos de cette caractéristique indiquerait que les interventions tardives (au-delà du 87^{ième} JAL) ont peu d'influence sur les taux de capsules entièrement saines.

Les conclusions relatives aux interventions sur seuil (à savoir la nécessité d'une intervention avant le 66^{ième} JAL et/ou entre le 66^{ième} et le 87^{ième} JAL) bien qu'intéressantes ne concernent que cette campagne et la station de Farako. Elles ne peuvent donc pas être généralisées puisqu'elles méritent d'être confirmées sur plusieurs années et sur plusieurs sites.

Enfin, on notera que les organes fructifères produits avant le 45^{ième} JAL sont en général très peu affectés par les infestations de chenilles de la capsule que l'on examine leurs taux de rétention et les taux de capsules entièrement saines qu'ils ont donnés. Ce résultat, qui confirmerait une recommandation fort ancienne concernant le début du programme d'interventions calendaires, pourrait remettre en cause l'intérêt de débiter des observations concernant ces ravageurs avant cette date comme cela est recommandé pour l'application du programme actuel d'interventions sur seuil. Par ailleurs le taux moyen de rétention de ces organes fructifères ayant été inférieur à 60 % des études devraient être conduites pour l'améliorer.

[illegible]

Annexe 4: coefficients de corrélation entre infestations hebdomadaires en chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) et taux de rétention des organes fructifères apparus par semaine depuis le début du cycle productif : étude sur l'efficacité des interventions sur seuil avec ou sans écimage (**significatif à 10 %**, **significatif à 5 %** et **significatif à 1 %**)

infestations de chenilles de la capsule (toutes espèces) à différentes dates																
semaine de production du - au	17-juil	24-juil	31-juil	07-août	14-août	21-août	28-août	04-sept	11-sept	18-sept	25-sept	02-oct	09-oct	16-oct	23-oct	30-oct
30-36 ^{ième} JAL	#DIV/0!	0,059	0,087	-0,127	0,032	-0,048	0,183									
37-43 ^{ième} JAL		0,100	-0,078	0,008	0,139	0,162	-0,073	0,001								
44-50 ^{ième} JAL			-0,014	0,094	-0,016	0,153	-0,234	-0,136	-0,003							
51-57 ^{ième} JAJ				0,179	-0,206	-0,300	-0,197	-0,319	0,262	-0,524						
58-64 ^{ième} JAL					-0,055	-0,107	-0,002	-0,227	0,324	-0,272	0,122					
65-71 ^{ième} JAL						-0,195	0,040	-0,345	0,226	-0,391	0,003	-0,067				
72-78 ^{ième} JAL							-0,197	-0,133	0,359	-0,109	-0,071	-0,026	0,001			
79-85 ^{ième} JAL								0,100	0,862	-0,284	0,284	0,249	0,354	0,090		
86-92 ^{ième} JAL									-0,237	-0,386	-0,203	-0,145	-0,038	0,259	#DIV/0!	
93-99 ^{ième} JAL										-0,357	-0,357	-0,190	-0,008	0,164	#DIV/0!	#DIV/0!

Annexe 5: coefficients de corrélation entre infestations hebdomadaires en chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) et taux de rétention des organes fructifères apparus par semaine depuis le début du cycle productif : étude de l'efficacité des interventions sur seuil prenant en compte la nuisibilité différente des espèces (**significatif à 10 %**, **significatif à 5 %** et **significatif à 1 %**)

infestations de chenilles de la capsule (toutes espèces) à différentes dates																
semaine de production du - au	17-juil	24-juil	31-juil	07-août	14-août	21-août	28-août	04-sept	11-sept	18-sept	25-sept	02-oct	09-oct	16-oct	23-oct	30-oct
30-36 ^{ième} JAL	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	-0,123	-0,055	0,262	-0,213									
37-43 ^{ième} JAL		#DIV/0!	#DIV/0!	-0,111	-0,087	0,200	-0,239	0,026								
44-50 ^{ième} JAL			#DIV/0!	-0,216	-0,209	0,077	-0,343	0,021	-0,240							
51-57 ^{ième} JAJ				-0,185	-0,177	0,155	-0,247	0,006	-0,147	-0,079						
58-64 ^{ième} JAL					-0,320	-0,101	-0,394	-0,017	-0,136	-0,040	-0,181					
65-71 ^{ième} JAL						-0,253	-0,453	-0,129	-0,192	-0,200	-0,109	-0,177				
72-78 ^{ième} JAL							-0,267	0,352	0,258	0,184	-0,064	-0,168	-0,260			
79-85 ^{ième} JAL								0,124	0,028	-0,091	-0,032	0,048	-0,096	-0,173		
86-92 ^{ième} JAL									-0,197	-0,149	-0,132	-0,067	-0,302	-0,276	#DIV/0!	
93-99 ^{ième} JAL										-0,169	-0,169	-0,143	-0,147	0,035	#DIV/0!	#DIV/0!

Annexe 6: coefficients de corrélation entre infestations hebdomadaires en chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) et taux de rétention des organes fructifères apparus par semaine depuis le début du cycle productif : étude de l'efficacité des interventions sur seuil prenant en compte la nuisibilité différente des stades larvaires (**significatif à 10 %**, **significatif à 5 %** et **significatif à 1 %**)

infestations de chenilles de la capsule (toutes espèces) à différentes dates																
semaine de production du - au	17-juil	24-juil	31-juil	07-août	14-août	21-août	28-août	04-sept	11-sept	18-sept	25-sept	02-oct	09-oct	16-oct	23-oct	30-oct
30-36 ^{ième} JAL	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0,093	-0,199	-0,071	-0,124									
37-43 ^{ième} JAL		#DIV/0!	#DIV/0!	-0,038	-0,099	0,087	-0,019	-0,126								
44-50 ^{ième} JAL			#DIV/0!	-0,072	-0,077	0,032	-0,279	-0,323	-0,063							
51-57 ^{ième} JAJ				-0,129	0,022	0,038	-0,208	-0,177	-0,080	-0,141						
58-64 ^{ième} JAL					-0,057	0,195	-0,128	-0,213	-0,141	0,072	-0,089					
65-71 ^{ième} JAL						0,089	-0,174	-0,236	-0,048	-0,005	-0,060	-0,038				
72-78 ^{ième} JAL							-0,130	-0,185	-0,031	-0,050	0,117	0,132	-0,079			
79-85 ^{ième} JAL								0,143	-0,072	-0,041	0,122	-0,009	0,006	0,213		
86-92 ^{ième} JAL									-0,137	-0,008	-0,112	0,129	-0,077	0,371	#DIV/0!	
93-99 ^{ième} JAL										-0,022	-0,022	-0,083	-0,200	-0,052	#DIV/0!	#DIV/0!

Annexe 7 : coefficients de corrélation entre infestations hebdomadaires en chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) et taux de rétention des organes fructifères apparus par semaine depuis le début du cycle productif : étude de l'efficacité des interventions sur seuil avec de nouvelles règles (**significatif à 10 %**, **significatif à 5 %** et **significatif à 1 %**)

infestations de chenilles de la capsule (toutes espèces) à différentes dates																
semaine de production du - au	17-juil	24-juil	31-juil	07-août	14-août	21-août	28-août	04-sept	11-sept	18-sept	25-sept	02-oct	09-oct	16-oct	23-oct	30-oct
30-36 ^{ième} JAL	#DIV/0!	0,028	-0,046	-0,025	0,002	-0,132	0,074									
37-43 ^{ième} JAL		-0,014	-0,208	-0,034	0,063	0,072	0,267	-0,150								
44-50 ^{ième} JAL			0,104	-0,057	0,152	0,120	0,242	-0,010	-0,081							
51-57 ^{ième} JAJ				-0,120	0,106	0,074	0,009	0,041	0,230	-0,111						
58-64 ^{ième} JAL					0,090	-0,046	-0,324	-0,042	0,151	-0,080	-0,223					
65-71 ^{ième} JAL						-0,198	-0,066	-0,279	-0,101	-0,319	-0,143	-0,022				
72-78 ^{ième} JAL							0,112	-0,074	0,076	-0,204	-0,046	0,110	-0,093			
79-85 ^{ième} JAL								-0,142	0,037	-0,416	-0,215	-0,007	-0,141	-0,096		
86-92 ^{ième} JAL									0,037	-0,416	-0,215	-0,007	-0,141	-0,096	#DIV/0!	
93-99 ^{ième} JAL											-0,278	-0,278	0,188	-0,004	0,150	#DIV/0! #DIV/0!

Annexe 8 : coefficients de corrélation entre infestations hebdomadaires en chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) et taux de rétention des organes fructifères apparus par semaine depuis le début du cycle productif : étude de l'efficacité des interventions sur seuil basé sur l'observation de pontes (**significatif à 10 %**, **significatif à 5 %** et **significatif à 1 %**)

infestations de chenilles de la capsule (toutes espèces) à différentes dates																
semaine de production du - au	17-juil	24-juil	31-juil	07-août	14-août	21-août	28-août	04-sept	11-sept	18-sept	25-sept	02-oct	09-oct	16-oct	23-oct	30-oct
30-36 ^{ième} JAL	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0,125	-0,068	0,151	0,054									
37-43 ^{ième} JAL		#DIV/0!	#DIV/0!	-0,124	0,145	0,321	-0,146	-0,063								
44-50 ^{ième} JAL			#DIV/0!	-0,334	-0,032	0,196	-0,266	-0,209	-0,113							
51-57 ^{ième} JAJ				-0,265	-0,023	0,138	-0,253	-0,183	-0,132	-0,216						
58-64 ^{ième} JAL					-0,193	-0,068	-0,320	-0,302	-0,377	-0,377	-0,376					
65-71 ^{ième} JAL						0,075	-0,372	-0,281	-0,351	-0,379	-0,375	-0,367				
72-78 ^{ième} JAL							-0,199	-0,183	-0,299	-0,225	-0,234	-0,267	-0,285			
79-85 ^{ième} JAL								-0,234	0,060	-0,205	-0,037	-0,109	-0,042	-0,037		
86-92 ^{ième} JAL									-0,258	-0,258	-0,211	-0,258	-0,258	-0,258	#DIV/0!	
93-99 ^{ième} JAL											-0,577	-0,577	-0,577	-0,577	#DIV/0! #DIV/0!	

Annexe 9 : coefficients de corrélation entre infestations hebdomadaires en chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) et taux de capsules entièrement saines des organes fructifères apparus par semaine depuis le début du cycle productif pour toutes les parcelles des études et de modalités retenues (**significatif à 10 %**, **significatif à 5 %** et **significatif à 1 %**)

infestations de chenilles de la capsule (toutes espèces) à différentes dates										
semaine de production du - au	04-sept	11-sept	18-sept	25-sept	02-oct	09-oct	16-oct	23-oct	30-oct	
30-36 ^{ième} JAL	-0,032	0,038	-0,082	-0,009	-0,056	0,009	0,145	#DIV/0!	#DIV/0!	
37-43 ^{ième} JAL		-0,018	-0,090	-0,086	-0,039	0,033	0,063	#DIV/0!	#DIV/0!	
44-50 ^{ième} JAL			-0,197	-0,185	-0,155	-0,037	0,010	#DIV/0!	#DIV/0!	
51-57 ^{ième} JAJ				-0,046	-0,074	-0,012	0,046	#DIV/0!	#DIV/0!	
58-64 ^{ième} JAL					-0,103	0,003	0,109	#DIV/0!	#DIV/0!	
65-71 ^{ième} JAL						-0,013	0,022	#DIV/0!	#DIV/0!	
72-78 ^{ième} JAL							-0,141	#DIV/0!	#DIV/0!	

Annexe 10 : coefficients de corrélation entre infestations hebdomadaires en chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) et taux de capsules entièrement saines des organes fructifères apparus par semaine depuis le début du cycle productif : étude de l'intégration de méthodes de lutte (**significatif à 10 %**, **significatif à 5 %** et **significatif à 1 %**)

infestations de chenilles de la capsule (toutes espèces) à différentes dates									
semaine de production du - au	04-sept	11-sept	18-sept	25-sept	02-oct	09-oct	16-oct	23-oct	30-oct
30-36 ^{ième} JAL	0,025	-0,092	0,094	-0,089	0,000	0,033	-0,146	#DIV/0!	#DIV/0!
37-43 ^{ième} JAL		0,167	0,278	-0,004	0,063	0,284	-0,061	#DIV/0!	#DIV/0!
44-50 ^{ième} JAL			0,044	-0,332	-0,028	-0,045	-0,372	#DIV/0!	#DIV/0!
51-57 ^{ième} JAJ				-0,339	-0,475	-0,270	-0,377	#DIV/0!	#DIV/0!
58-64 ^{ième} JAL					-0,118	0,023	0,121	#DIV/0!	#DIV/0!
65-71 ^{ième} JAL						-0,174	-0,030	#DIV/0!	#DIV/0!
72-78 ^{ième} JAL							-0,170	#DIV/0!	#DIV/0!

Annexe 11 : coefficients de corrélation entre infestations hebdomadaires en chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) et taux de capsules entièrement saines des organes fructifères apparus par semaine depuis le début du cycle productif : étude de l'efficacité des interventions sur seuil en fonction de la date de semis (**significatif à 10 %**, **significatif à 5 %** et **significatif à 1 %**)

infestations de chenilles de la capsule (toutes espèces) à différentes dates									
semaine de production du - au	04-sept	11-sept	18-sept	25-sept	02-oct	09-oct	16-oct	23-oct	30-oct
30-36 ^{ième} JAL	0,158	0,017	0,066	0,014	-0,079	-0,088	0,318	#DIV/0!	#DIV/0!
37-43 ^{ième} JAL		-0,143	0,026	-0,008	-0,011	-0,029	0,260	#DIV/0!	#DIV/0!
44-50 ^{ième} JAL			-0,269	-0,158	0,030	-0,066	-0,274	#DIV/0!	#DIV/0!
51-57 ^{ième} JAJ				-0,085	0,057	-0,276	-0,237	#DIV/0!	#DIV/0!
58-64 ^{ième} JAL					-0,265	-0,379	-0,192	#DIV/0!	#DIV/0!
65-71 ^{ième} JAL						-0,351	-0,127	#DIV/0!	#DIV/0!
72-78 ^{ième} JAL							-0,608	#DIV/0!	#DIV/0!

Annexe 12 : coefficients de corrélation entre infestations hebdomadaires en chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) et taux de capsules entièrement saines des organes fructifères apparus par semaine depuis le début du cycle productif : étude sur l'efficacité des interventions sur seuil avec ou sans écimage (**significatif à 10 %**, **significatif à 5 %** et **significatif à 1 %**)

infestations de chenilles de la capsule (toutes espèces) à différentes dates									
semaine de production du - au	04-sept	11-sept	18-sept	25-sept	02-oct	09-oct	16-oct	23-oct	30-oct
30-36 ^{ième} JAL	-0,150	0,174	-0,417	0,150	0,175	0,155	0,083	#DIV/0!	#DIV/0!
37-43 ^{ième} JAL		0,139	-0,320	-0,231	-0,152	-0,089	-0,100	#DIV/0!	#DIV/0!
44-50 ^{ième} JAL			-0,543	-0,157	-0,089	0,089	-0,078	#DIV/0!	#DIV/0!
51-57 ^{ième} JAJ				0,077	0,005	0,080	0,044	#DIV/0!	#DIV/0!
58-64 ^{ième} JAL					-0,012	-0,063	0,115	#DIV/0!	#DIV/0!
65-71 ^{ième} JAL						-0,213	-0,350	#DIV/0!	#DIV/0!
72-78 ^{ième} JAL							-0,608	#DIV/0!	#DIV/0!

Annexe 13 : coefficients de corrélation entre infestations hebdomadaires en chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) et taux de capsules entièrement saines des organes fructifères apparus par semaine depuis le début du cycle productif : étude de l'efficacité des interventions sur seuil prenant en compte la nuisibilité différente des espèces (**significatif à 10 %**, **significatif à 5 %** et **significatif à 1 %**)

infestations de chenilles de la capsule (toutes espèces) à différentes dates									
semaine de production du - au	04-sept	11-sept	18-sept	25-sept	02-oct	09-oct	16-oct	23-oct	30-oct
30-36 ^{ième} JAL	-0,248	-0,047	-0,099	-0,330	-0,178	0,041	-0,209	#DIV/0!	#DIV/0!
37-43 ^{ième} JAL		-0,238	-0,240	-0,230	0,184	0,082	-0,281	#DIV/0!	#DIV/0!
44-50 ^{ième} JAL			0,024	-0,413	-0,140	-0,110	-0,226	#DIV/0!	#DIV/0!
51-57 ^{ième} JAJ				-0,301	0,114	-0,247	-0,090	#DIV/0!	#DIV/0!
58-64 ^{ième} JAL					-0,202	-0,230	-0,343	#DIV/0!	#DIV/0!
65-71 ^{ième} JAL						-0,507	-0,512	#DIV/0!	#DIV/0!
72-78 ^{ième} JAL							-0,281	#DIV/0!	#DIV/0!

Annexe 14 : coefficients de corrélation entre infestations hebdomadaires en chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) et taux de capsules entièrement saines des organes fructifères apparus par semaine depuis le début du cycle productif : étude de l'efficacité des interventions sur seuil prenant en compte la nuisibilité différente des stades larvaires (**significatif à 10 %**, **significatif à 5 %** et **significatif à 1 %**)

infestations de chenilles de la capsule (toutes espèces) à différentes dates									
semaine de production du - au	04-sept	11-sept	18-sept	25-sept	02-oct	09-oct	16-oct	23-oct	30-oct
30-36 ^{ième} JAL	-0,089	0,181	0,081	-0,070	0,066	0,055	0,235	#DIV/0!	#DIV/0!
37-43 ^{ième} JAL		0,024	-0,186	-0,296	-0,241	-0,217	-0,076	#DIV/0!	#DIV/0!
44-50 ^{ième} JAL			-0,014	-0,165	-0,021	0,040	0,333	#DIV/0!	#DIV/0!
51-57 ^{ième} JAJ				-0,183	-0,110	-0,002	-0,025	#DIV/0!	#DIV/0!
58-64 ^{ième} JAL					-0,047	0,402	0,166	#DIV/0!	#DIV/0!
65-71 ^{ième} JAL						0,218	0,113	#DIV/0!	#DIV/0!
72-78 ^{ième} JAL							-0,088	#DIV/0!	#DIV/0!

Annexe 15 : coefficients de corrélation entre infestations hebdomadaires en chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) et taux de capsules entièrement saines des organes fructifères apparus par semaine depuis le début du cycle productif : étude de l'efficacité des interventions sur seuil avec de nouvelles règles (**significatif à 10 %**, **significatif à 5 %** et **significatif à 1 %**)

infestations de chenilles de la capsule (toutes espèces) à différentes dates									
semaine de production du - au	04-sept	11-sept	18-sept	25-sept	02-oct	09-oct	16-oct	23-oct	30-oct
30-36 ^{ième} JAL	-0,048	0,087	-0,010	0,101	-0,174	-0,077	0,135	#DIV/0!	#DIV/0!
37-43 ^{ième} JAL		0,061	0,096	-0,022	-0,067	-0,017	0,050	#DIV/0!	#DIV/0!
44-50 ^{ième} JAL			0,245	-0,116	-0,110	-0,008	-0,138	#DIV/0!	#DIV/0!
51-57 ^{ième} JAJ				-0,041	-0,188	0,033	-0,131	#DIV/0!	#DIV/0!
58-64 ^{ième} JAL					0,065	0,190	0,022	#DIV/0!	#DIV/0!
65-71 ^{ième} JAL						0,145	0,220	#DIV/0!	#DIV/0!
72-78 ^{ième} JAL							0,048	#DIV/0!	#DIV/0!

Annexe 16 : coefficients de corrélation entre infestations hebdomadaires en chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) et taux de capsules entièrement saines des organes fructifères apparus par semaine depuis le début du cycle productif : étude de l'efficacité des interventions sur seuil basé sur l'observation de pontes (**significatif à 10 %**, **significatif à 5 %** et **significatif à 1 %**)

infestations de chenilles de la capsule (toutes espèces) à différentes dates									
semaine de production du - au	04-sept	11-sept	18-sept	25-sept	02-oct	09-oct	16-oct	23-oct	30-oct
30-36 ^{ième} JAL	0,122	0,241	0,246	0,189	0,212	0,159	0,316	#DIV/0!	#DIV/0!
37-43 ^{ième} JAL		0,372	0,323	0,341	0,377	0,423	0,193	#DIV/0!	#DIV/0!
44-50 ^{ième} JAL			-0,465	-0,382	-0,438	-0,385	-0,317	#DIV/0!	#DIV/0!
51-57 ^{ième} JAJ				-0,024	0,009	0,097	-0,106	#DIV/0!	#DIV/0!
58-64 ^{ième} JAL					0,225	0,201	0,239	#DIV/0!	#DIV/0!
65-71 ^{ième} JAL						-0,098	0,108	#DIV/0!	#DIV/0!
72-78 ^{ième} JAL							-0,306	#DIV/0!	#DIV/0!

Annexe 17 : dates (en jours calendaires) des opérations culturales pour les différentes études

		études							
		seuil nouvelles règles	seuil intégration	seuil écimage	seuil pontes	seuil nuisibilité espèce	seuil stades larvaires	seuil date de semis S1	seuil date de semis S2
labour		12-juin	12-juin	12-juin	13-juin	13-juin	13-juin	13-juin	
piquetage		13-juin	13-juin	13-juin	13-juin	13-juin	13-juin	13-juin	
semis		14-juin	14-juin	14-juin	15-juin	15-juin	15-juin	15-juin	05-juil
resemis									
démariage		28-juin	28-juin	28-juin	28-juin	28-juin	28-juin	28-juin	20-juil
épandage engrais complet		02-juil	02-juil	02-juil	03-juil	03-juil	03-juil	03-juil	16-juil
épandage urée		15-juil	15-juil	15-juil	16-juil	16-juil	16-juil	16-juil	16-juil
sarclages	1	02-juil	02-juil	02-juil	03-juil	03-juil	03-juil	03-juil	16-juil
	2	15-juil	15-juil	15-juil	16-juil	16-juil	16-juil	16-juil	29-juil
	3	28-juil	28-juil	28-juil	29-juil	29-juil	29-juil	29-juil	11-août
	4	10-août	10-août	10-août	11-août	11-août	11-août	11-août	29-août
buttage		11-août	11-août	11-août	12-août	12-août	12-août	12-août	30-août
déherbages	1	23-août	23-août	23-août	24-août	24-août	24-août	24-août	11-sept
	2	10-sept	10-sept	10-sept	11-sept	11-sept	11-sept	11-sept	28-sept
	3	27-sept	27-sept	27-sept	28-sept	28-sept	28-sept	28-sept	17-oct
	4	16-oct	16-oct	16-oct	17-oct	17-oct	17-oct	17-oct	29-oct
traitements insecticides calendaires	1		31-juil	31-juil	01-août	01-août	01-août	01-août	22-août
	2		14-août	14-août	15-août	15-août	15-août	15-août	05-sept
	3		28-août	28-août	29-août	29-août	29-août	29-août	19-sept
	4		11-sept	11-sept	12-sept	12-sept	12-sept	12-sept	03-oct
	5		25-sept	25-sept	26-sept	26-sept	26-sept	26-sept	17-oct
	6		09-oct	09-oct	10-oct	10-oct	10-oct	10-oct	31-oct

Annexe 18 : dates (en jours après levée) des opérations culturales pour les différentes études

		études							
		seuil nouvelles règles	seuil intégration	seuil écimage	seuil pontes	seuil nuisibilité espèce	seuil stades larvaires	seuil date de semis S1	seuil date de semis S2
démariage		11	11	11	10	10	10	10	12
épandage engrais complet		15	15	15	15	15	15	15	8
épandage urée		28	28	28	28	28	28	28	8
sarclages	1	15	15	15	15	15	15	15	8
	2	28	28	28	28	28	28	28	21
	3	41	41	41	41	41	41	41	34
	4	54	54	54	54	54	54	54	52
buttage		55	55	55	55	55	55	55	53
déherbages	1	67	67	67	67	67	67	67	65
	2	85	85	85	85	85	85	85	82
	3	102	102	102	102	102	102	102	101
	4	121	121	121	121	121	121	121	113
traitements insecticides calendaires	1		44	44	44	44	44	44	45
	2		58	58	58	58	58	58	59
	3		72	72	72	72	72	72	73
	4		86	86	86	86	86	86	87
	5		100	100	100	100	100	100	101
	6		114	114	114	114	114	114	115

A PROPOS DES PHENOMENES DE COMPENSATION DES PERTES DUES AUX RAVAGEURS CHEZ LE COTONNIER

1 Introduction

La compensation des pertes provoquées par les ravageurs chez le cotonnier a souvent été avancée en Afrique pour justifier, en raison des variétés cultivées, une prolongation des programmes de protection dans certaines situations. Cependant ce sujet fait toujours débat car ces situations ne sont que très rarement précisées et les phénomènes de compensation souvent faiblement quantifiés.

2 Objectifs

L'un des objectifs de cette étude est d'apporter un éclairage sur les possibilités de compensation des pertes dues aux ravageurs chez le cotonnier en fonction de la densité de plantation de la culture.

3 Matériels et méthodes

Deux expérimentations, mettant en jeu les deux mêmes facteurs et les mêmes modalités pour chacun de ces facteurs, ont été mises en place sur la sous station de Farako (région de Sikasso au Mali). Le premier facteur concernait l'écimage manuel des cotonniers et présentait deux modalités qui étaient sa réalisation (l'écimage étant pratiqué lorsque les cotonniers avaient formé 15 branches fructifères) et sa non-réalisation. Le second facteur était relatif à la densité de plantation et présentait quatre niveaux donnés dans le tableau 1.

Tableau 1 : modalités de densité de plantation

Modalités	espacement des lignes	espacement des poquets	démariage
D1 : 2,1 plants/m ²	0,8 mètre	0,6 mètre	1 plant/poquet
D2 : 4,2 plants/m ²	0,8 mètre	0,3 mètre	1 plant/poquet
D3 : 8,3 plants/m ²	0,8 mètre	0,3 mètre	2 plants/poquet
D4 : 16,7 plants/m ²	0,4 mètre	0,3 mètre	2 plants/poquet

Chaque expérimentation a été conduite suivant un dispositif factoriel à 6 répétitions. La parcelle élémentaire avait une superficie de 48 m² (soit 6 lignes de 10 mètres pour les trois premières densités de plantation et 12 lignes de 10 mètres pour la densité de 16,7 plants/m²). L'une des expérimentations (expérimentation 1) est restée sans protection insecticide pendant toute la campagne agricole et l'autre (expérimentation 2) a reçu une protection insecticide maximale⁶⁶.

A l'exception de l'écimage, les pratiques culturales ont été identiques dans chaque expérimentation. Avec des semences de la variété STAM 59 A elles furent implantées le 15 juin dans le même bloc de culture de 5 500 m² ayant préalablement reçu 10 tonnes de fumier par hectare. Le démariage a été effectué au 20^{ième} JAL⁶⁷ après l'apport au 13^{ième} JAL de 200 kg/ha d'engrais complet⁶⁸. L'urée à raison de 50 kg/ha a été apportée au 43^{ième} JAL avant le

⁶⁶ 13 applications hebdomadaires d'insecticide du 30^{ième} au 114^{ième} JAL (Jour Après la Levée) avec du profénofos (Curacron 500 ®) épandu à 500 g/ha jusqu'au 74^{ième} JAL et par la suite une association de cyperméthrine et d'acétaméprid (Conquest C 88®) épandue à raison de 36 g/ha pour la première matière active et de 8 g/ha pour la seconde

⁶⁷ JAL = Jour Après la Levée

⁶⁸ Engrais complet = 14 N, 18 P, 18 K, 7 S et 1 B

buttage réalisé au 59^{ième} JAL. Quatre sarclages manuels ont été effectués respectivement au 14^{ième} JAL, au 30^{ième} JAL, au 44^{ième} JAL et au 52^{ième} JAL. L'entretien de cette étude a été complété par un seul désherbage manuel au 79^{ième} JAL. L'écimage des cotonniers des parcelles concernées a été pratiqué entre le 82^{ième} et le 90^{ième} JAL (la décision étant prise à l'échelle de la parcelle) dans l'expérimentation restée sans protection insecticide et entre le 84^{ième} et le 91^{ième} JAL dans l'expérimentation recevant une protection phytosanitaire maximale.

Les résultats qui seront présentés proviennent d'observations sur le développement des cotonniers à la récolte⁶⁹, sur l'analyse de la production à l'échelle des plants⁴ et sur les rendements en coton-graine⁷⁰ réalisées dans les deux études. Toutefois les infestations de chenilles de la capsule (*Helicoverpa armigera* Hübner, *Diparopsis watersi* Rotschild et *Earias* sp)⁷¹, suivies uniquement dans l'expérimentation restée sans protection insecticide, seront utilisées pour examiner leur implication dans des phénomènes de compensation.

L'exploitation des données des examens détaillés de la production à l'échelle de plant s'est basée sur des résultats obtenus au cours des années précédentes au Mali (2002 et 2003) sur les dates d'apparition des organes fructifères des branches fructifères qui concluaient qu'en moyenne : 3 jours séparaient les apparitions d'organe fructifère occupant la même position sur 2 branches fructifères successives (résultat confirmé dans l'étude 2 avec une protection insecticide maximale), 6 jours séparaient les apparitions d'organe fructifère sur 2 positions successives d'une même branche fructifère et 30 jours s'écoulaient entre l'apparition d'un bouton floral et l'épanouissement de la fleur à laquelle il donnait naissance.

4 Résultats

Bénéficiant de mises en place aux mêmes dates (le 15 juin), d'une proximité d'implantation (dans le même bloc de culture) et d'itinéraires techniques identiques (en dehors de la protection insecticide et des dates d'écimage manuel), les résultats de ces deux expérimentations ont été comparés même si aucune signification statistique n'a été attribuée aux comparaisons entreprises. Par ailleurs cette étude ayant trait aux effets de l'augmentation de la densité de plantation sur les phénomènes de compensation des pertes dues aux ravageurs, les résultats à propos de l'écimage des cotonniers et de ses interactions avec la densité de plantation ne seront pas évoqués. Enfin, des effets souvent hautement significatifs étant apparus entre les densités de plantation pour les caractéristiques de développement et de fructification des cotonniers, les comparaisons entreprises ont été faites par densité de plantation sur la base des moyennes obtenues dans chaque expérimentation pour les 12 parcelles ayant la même densité de plantation (6 parcelles où les cotonniers n'ont pas été écimés et 6 parcelles où les cotonniers furent écimés manuellement).

⁶⁹ Après l'ouverture de toutes les capsules les cotonniers présents sur un tronçon de ligne de 1,5 mètre d'une des lignes centrales de chaque parcelle élémentaire ont été examinés. La taille à partir du nœud cotylédonaire, le nombre de nœuds formés et les nombres de branches fructifères et végétatives ont été relevés par cotonnier. Toujours par cotonnier les organes fructifères absents ou présents au niveau de chaque site fructifère (jusqu'au 5^{ième}) de chaque branche fructifère (jusqu'à la 20^{ième}) ont été notés en distinguant en cas de présence la nature de l'organe fructifère porté (capsules entièrement saine, capsule partiellement saine, capsule momifiée et capsule pourrie). Les organes fructifères portés par l'ensemble des branches végétatives en distinguant les mêmes catégories ont été relevés de manière globale sans les distinguer.

⁷⁰ Rendement estimé à partir de la production de coton graine des quatre lignes centrales de chaque parcelle élémentaire

⁷¹ Ces suivis ont été constitués d'observations hebdomadaires du 30^{ième} JAL au 135^{ième} JAL sur 25 cotonniers par parcelle élémentaire

Dans le tableau 2 sont données les performances de production des densités de plantation mises en œuvre au sein des deux études. Elles indiquent que l'incidence des ravageurs sur la production a été de l'ordre de 30 % sans influence de la densité de plantation (Tableau 2). Ce résultat est conforme à ceux obtenus habituellement et en moyenne au Mali (Cadou, 1982 et Michel, 1999).

Tableau 2 : performances de production
de deux niveaux de protection de la culture cotonnière
et pertes de production dues aux ravageurs en %

densité	rendement en kg/ha		pertes de production dues aux ravageurs en %
	expérimentation 1 NT ¹	expérimentation 2 PP ²	
D1	878,9	1246,1	29,5
D2	825,5	1192,1	30,7
D3	842,4	1175,8	28,3
D4	1752,6	2496,1	29,8

NT¹ = non traité ; PP² = protection insecticide maximale

En rapprochant les résultats des deux expérimentations, on observe que le nombre sites fructifères par branche fructifère est souvent plus élevé en l'absence de protection insecticide (Figure 1 à 4). Cette production supplémentaire de sites fructifères par branche fructifère n'apparaît qu'à partir de la 5^{ème} branche fructifère pour la densité de 2,1 plants/m² probablement parce que les nombres de sites sur les branches fructifères formées antérieurement sont déjà très élevés et que les conditions de culture n'autorisaient probablement pas la formation de sites supplémentaires sur ces branches fructifères. Par contre pour la densité de plantation de 16,7 plants/m² ce sont probablement ces conditions de culture (forte densité de plantation) qui ont empêché la formation d'un plus grand nombre de sites fructifères par branche fructifère avant la 8^{ème} branche fructifère.

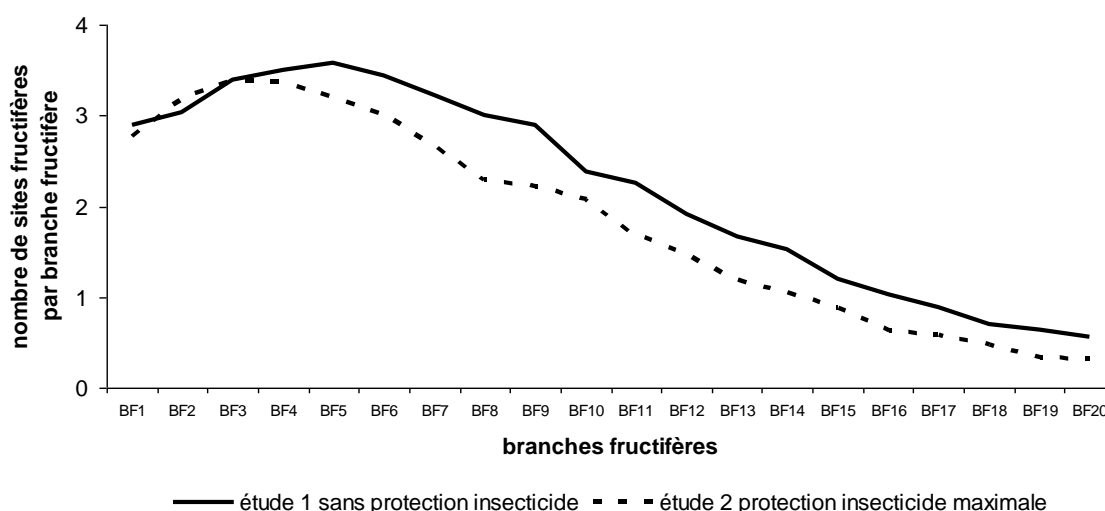


Figure 1 : Nombre de sites fructifères par branche fructifère en fonction de la protection de la culture avec la densité de 2,1 plants/m²

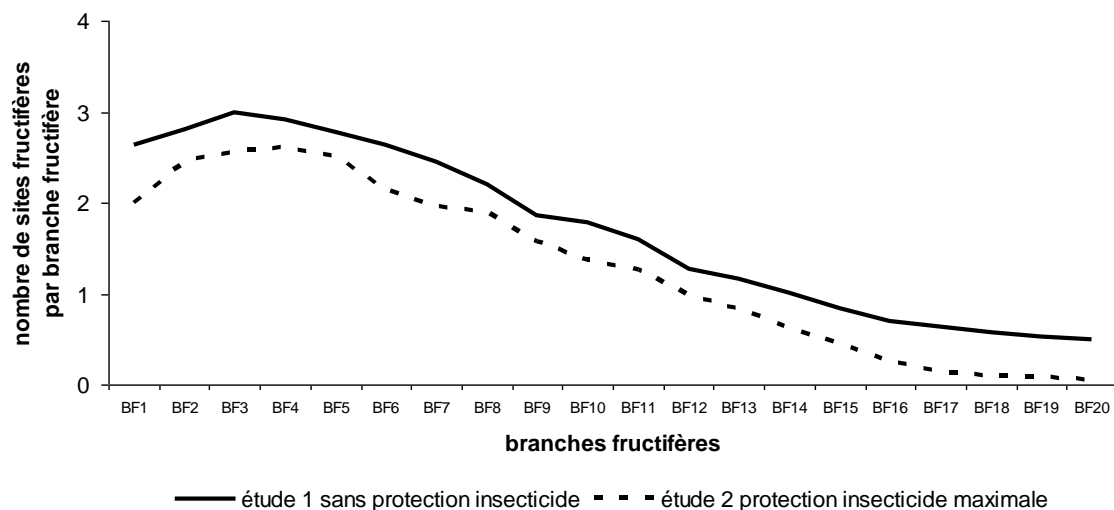


Figure 2 : Nombre de sites fructifères par branche fructifère en fonction de la protection de la culture avec la densité de 4,2 plants/m²

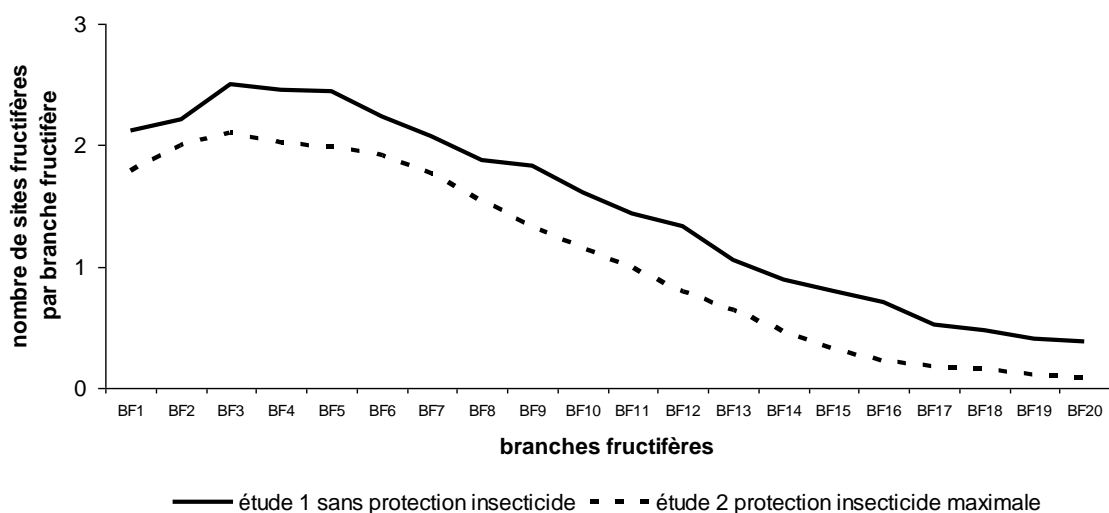


Figure 3 : Nombre de sites fructifères par branche fructifère en fonction de la protection de la culture avec la densité de 8,3 plants/m²

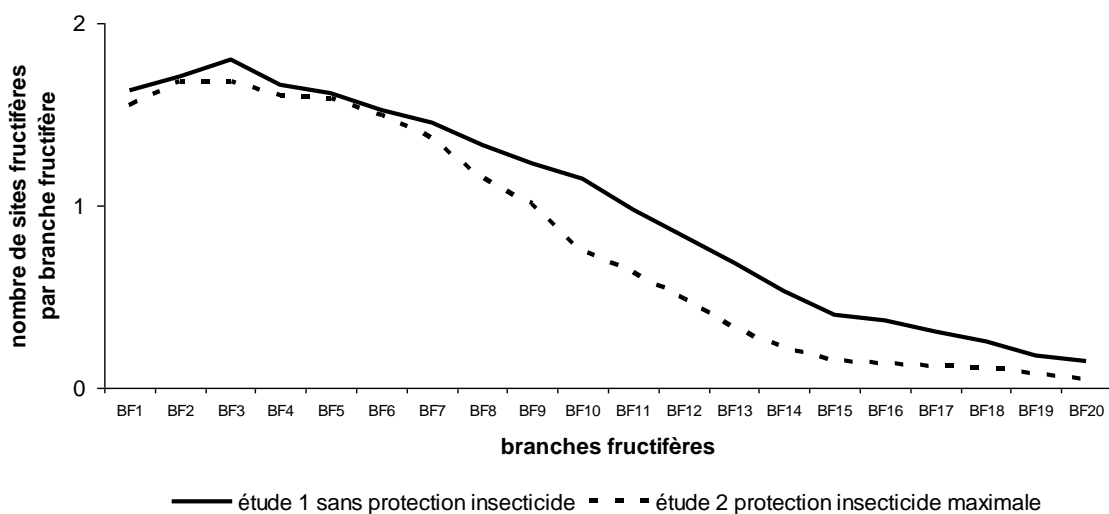


Figure 4 : Nombre de sites fructifères par branche fructifère en fonction de la protection de la culture avec la densité de 16,7 plants/m²

En regardant les productions de nouveaux sites fructifères sur branches fructifères par semaine du cycle fructifère et par plant, les mêmes observations peuvent être faites en comparant les résultats de l'expérimentation restée sans protection insecticide à ceux de l'expérimentation ayant reçu une protection insecticide maximale (Figures 5 à 8). Les potentiels de compensation par cotonnier sur les branches fructifères (surface en grisé) en l'absence de protection insecticide apparaissent relativement comparables pour les densités de plantation de 2,1 plants/m², 4,2 plants/m² et 8,3 plants/m² mais ils sont beaucoup plus faibles si les cotonniers sont semés à 16,7 plants/m².

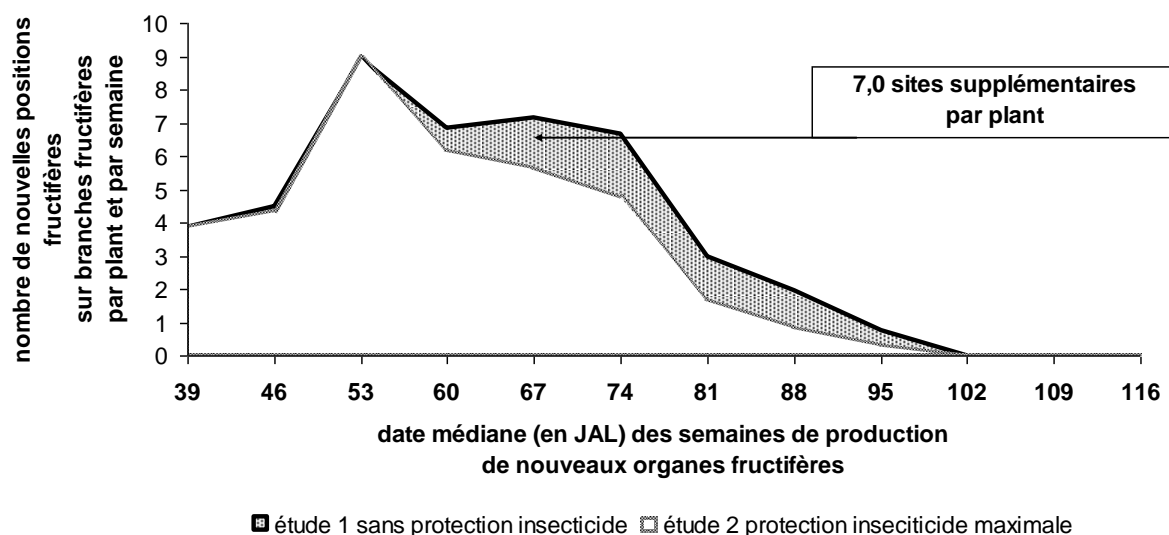


Figure 5 : Evolution de la production par plant de nouveaux sites fructifères sur branches fructifères en fonction de la protection de la culture pour la densité de 2,1 plants/m²

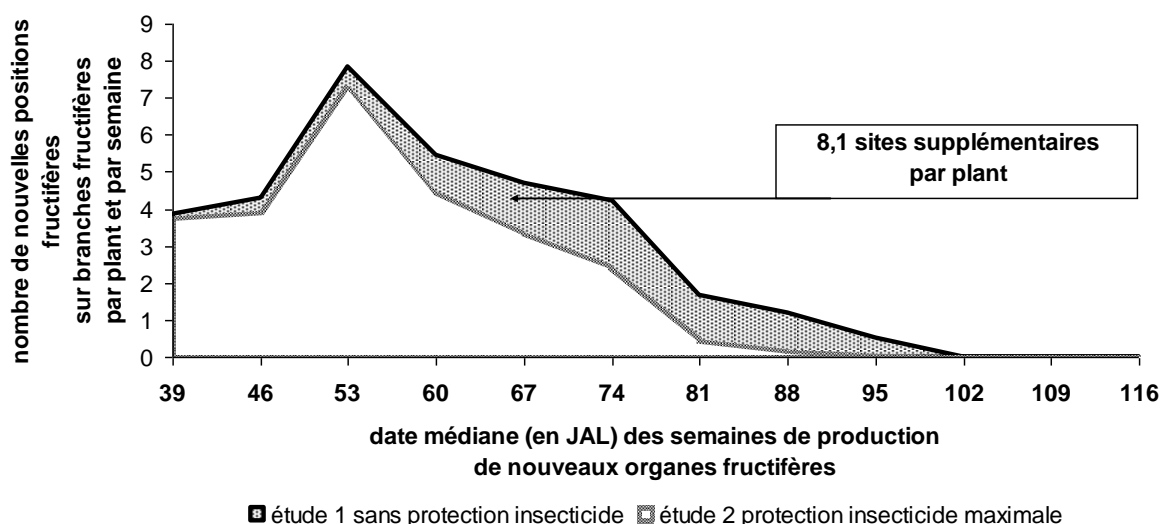


Figure 6 : Evolution de la production par plant de nouveaux sites fructifères sur branches fructifères en fonction de la protection de la culture pour la densité de 4,2 plants/m²

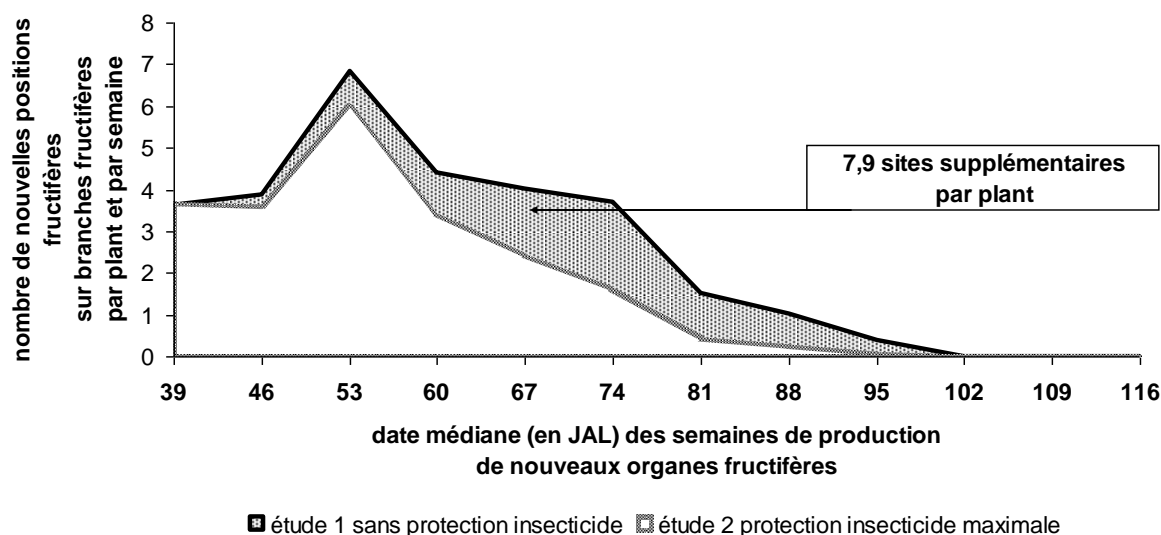


Figure 7 : Evolution de la production par plant de nouveaux sites fructifères sur branches fructifères en fonction de la protection de la culture pour la densité de 8,3 plants/m²

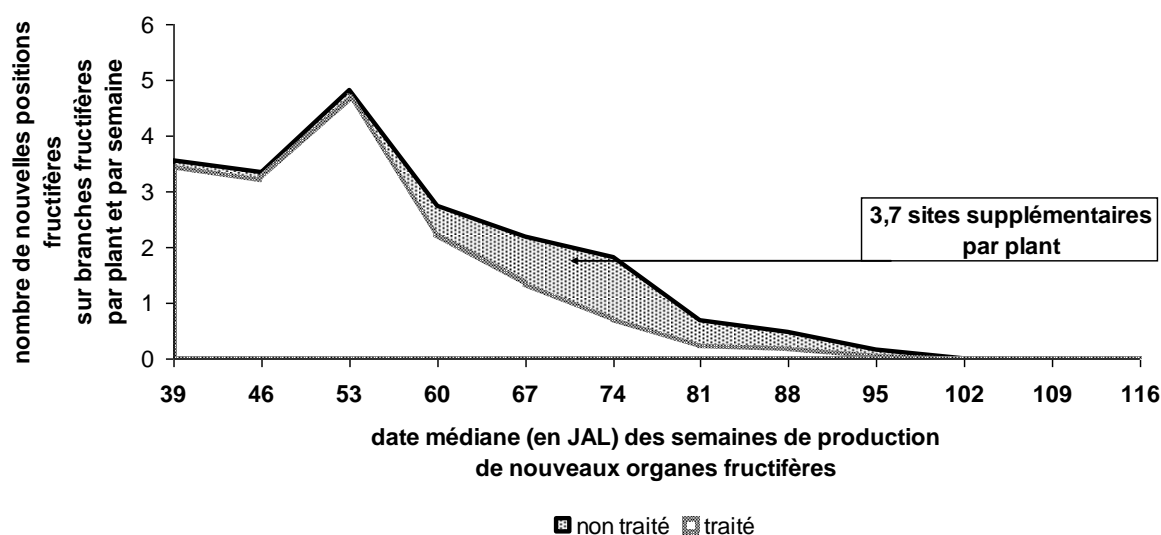


Figure 8 : Evolution de la production par plant de nouveaux sites fructifères sur branches fructifères en fonction de la protection de la culture pour la densité de 16,7 plants/m²

Ces potentiels de compensation sur branches fructifères devraient tenir compte de la densité de plantation pour être appréciés à l'échelle d'une parcelle. Alors malgré un potentiel de compensation sur branches fructifères plus faible par plant, le plus fort potentiel de compensation sur branches fructifères par m² est obtenu avec la densité de 16,7 plants/m² et les parcelles semées à des densités inférieures présentent des potentiels de compensation sur branches fructifères par m² d'autant plus faibles que la densité de plantation diminue (Figures 9 à 12).

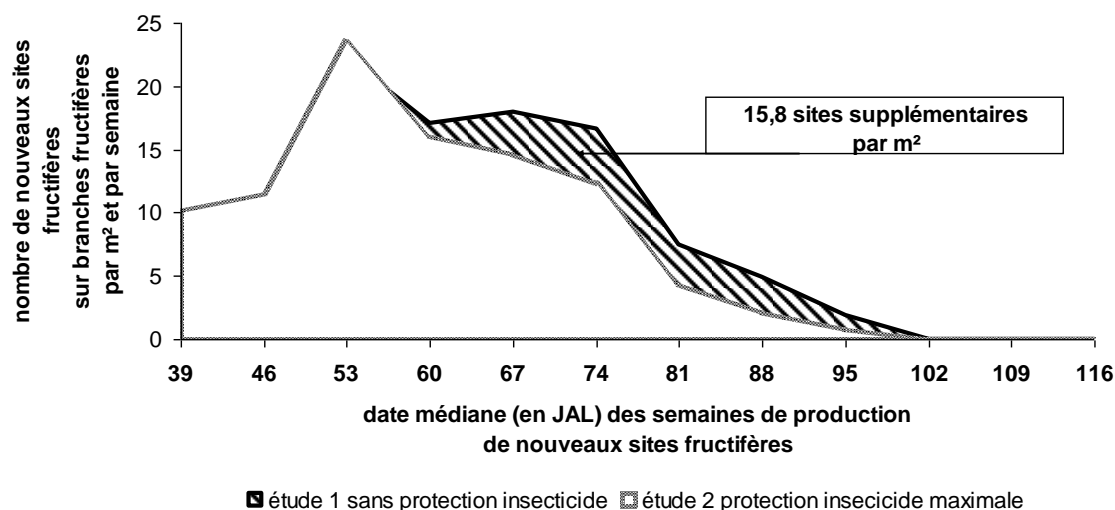


Figure 9 : Evolution de la production par m² de nouveaux sites fructifères sur branches fructifères en fonction de la protection de la culture pour la densité de 2,1 plants/m²

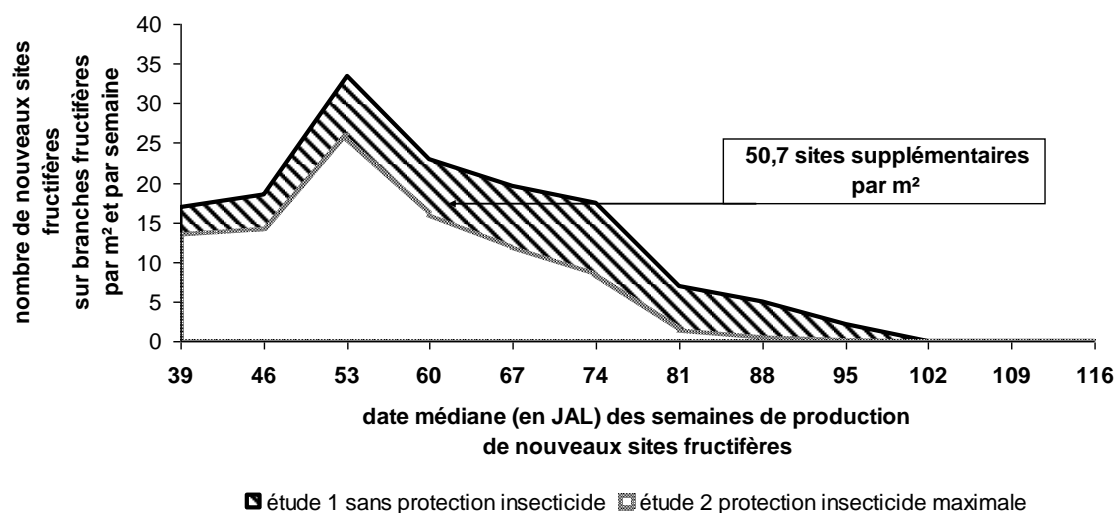


Figure 10 : Evolution de la production par m² de nouveaux sites fructifères sur branches fructifères en fonction de la protection de la culture pour la densité de 4,2 plants/m²

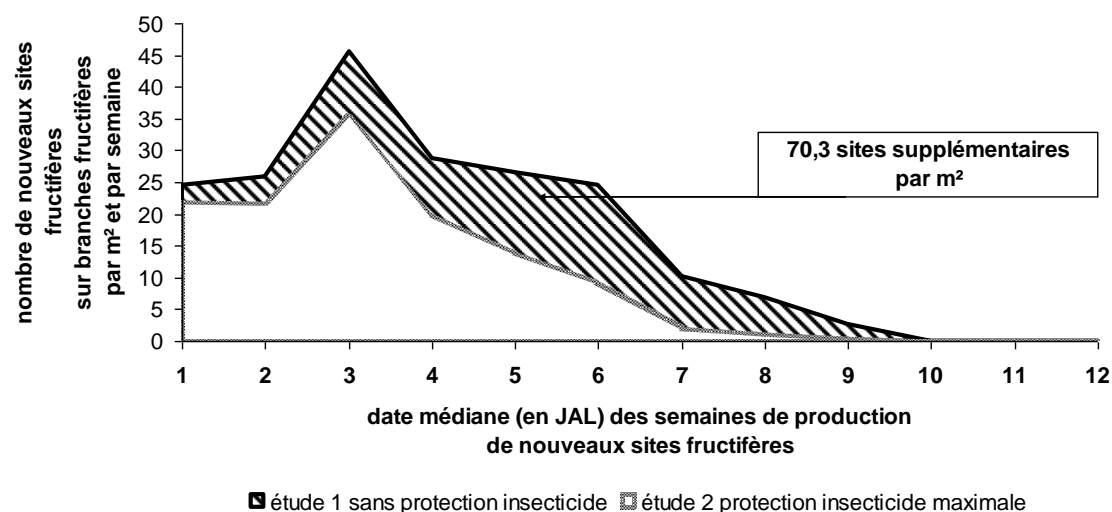


Figure 11 : Evolution de la production par m² de nouveaux sites fructifères sur branches fructifères en fonction de la protection de la culture pour la densité de 8,3 plants/m²

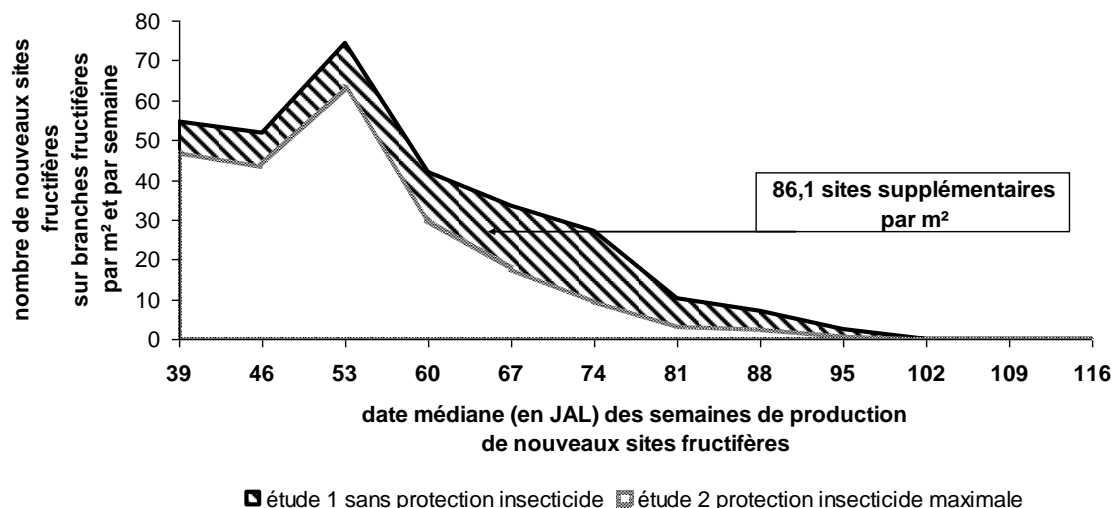


Figure 12 : Evolution de la production par m² de nouveaux sites fructifères sur branches fructifères en fonction de la protection de la culture pour la densité de 16,7 plants/m²

Pour quantifier les phénomènes de compensation, ces potentiels de compensation sur branches fructifères devraient être pondérés par les taux de rétention des organes fructifères correspondant aux sites fructifères supplémentaires apparus puisqu'ils baissent régulièrement au fur et à mesure de l'avancement de la campagne quelle que soit la densité de plantation (Figure 13).

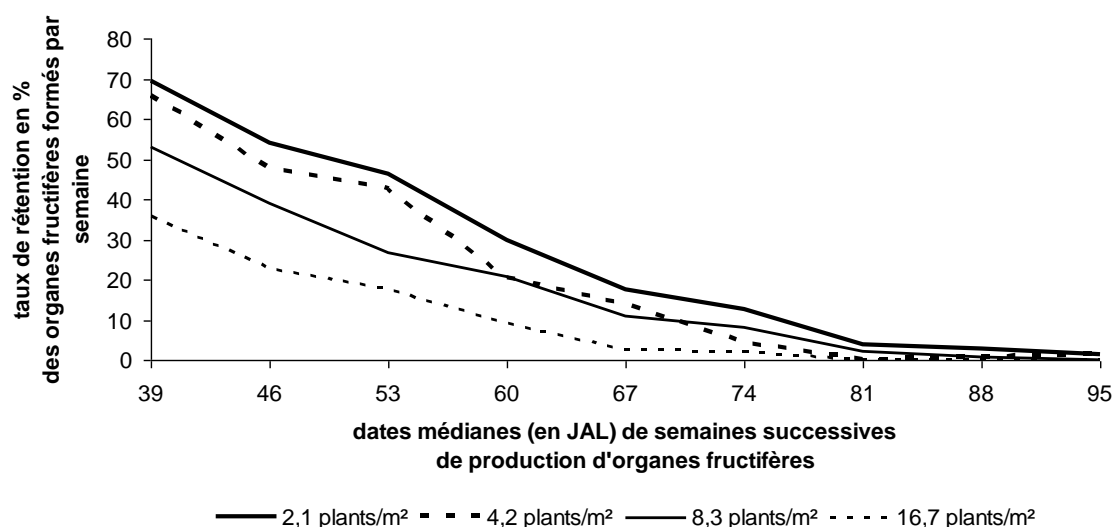


Figure 13 : Evolution des taux de rétention des organes fructifères en fonction de leur date d'apparition sur les branches fructifères et de la densité de plantation en l'absence de protection insecticide













Ainsi par m² les organes fructifères supplémentaires sur branches fructifères présents à la récolte ne sont plus que de 1,7 pour la densité de plantation de 2,1 plants/m², 10,4 pour la densité de plantation de 4,2 plants/m², 10,5 la densité de plantation de 8,3 plants/m² et 8,5 la densité de plantation de 16,7 plants/m².

Cependant tous ces organes fructifères supplémentaires sur branches fructifères ne produiront pas du coton graine. Seules les capsules entièrement et partiellement saines en produiront. Ces organes fructifères en l'absence de protection insecticide représentent de 88 à 91 % des organes fructifères présents à la récolte sur les branches fructifères (les

capsules entièrement saines étant très largement majoritaires)⁷². Alors toujours par m², les organes fructifères supplémentaires sur branches fructifères produisant du coton graine ne sont plus que de 1,1 pour la densité de plantation de 2,1 plants/m², de 0,8 pour la densité de plantation de 4,2 plants/m², de 3,0 pour la densité de plantation de 8,3 plants/m² et de 0,7 pour la densité de plantation de 16,7 plants/m². Cela représente 3,5 % des organes fructifères produisant du coton graine sur branches fructifères pour la densité de plantation de 2,1 plants/m², 1,9 % pour la densité de plantation de 4,2 plants/m², 7,2 % pour la densité de plantation de 8,3 plants/m² et 1,5 % la densité de plantation de 16,7 plants/m². Cependant compte tenu des positions occupées par ces organes productifs supplémentaires sur le plant⁷³ (Tableau 3), il est fort probable qu'en poids de coton graine leur participation dans la production de coton graine issue des branches fructifères soit plus faible.

Tableau 3 : localisation et nombre de capsules entièrement ou partiellement saines réellement supplémentaires produites par plant en fonction de la densité de plantation

		D1					D2					D3					D4				
		position sur branche					position sur branche					position sur branche					position sur branche				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
branches fructifères	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0,03	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0,03	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0	0	0	0,05	0,01	0,01	0	0	0,01	0	0
	5	0	0	0	0	0,06	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0,03	0,03	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0,08	0,03	0	0	0	0,02	0	0	0	0,06	0,01	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0,01	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0	0	0	0,02	0	0	0
	12	0	0,08	0	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	0	0	0	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0,02	0	0	0	0
	15	0	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	0,03	0,03	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	organe produit entre le 36 et le 42 JAL		organe produit entre le 64 et le 70 JAL		organe produit entre le 92 et le 98 JAL
	organe produit entre le 43 et le 49 JAL		organe produit entre le 71 et le 77 JAL		organe produit entre le 99 et le 105 JAL
	organe produit entre le 50 et le 56 JAL		organe produit entre le 78 et le 84 JAL		organe produit entre le 106 et le 112 JAL
	organe produit entre le 57 et le 63 JAL		organe produit entre le 85 et le 91 JAL		organe produit entre le 113 et le 119 JAL

Pour avoir un aperçu plus complet des phénomènes de compensation on doit prendre en compte les organes fructifères produisant du coton graine (capsules entièrement et partiellement saines) issus des branches végétatives. D'une manière générale la contribution des branches végétatives à la production est d'autant plus faible que la densité de plantation

⁷² En l'absence de protection insecticide, aucune différence significative n'est apparue entre les densités de plantation pour cette caractéristique (F = 0,68 significatif à 57,1 %)

⁷³ Ces positions sont le reflet des dates d'apparition de ces organes fructifères sur le plant

augmente (Tableau 4) mais elle apparaît surtout plus élevée en l'absence de protection insecticide quelle que soit la densité de plantation (Tableau 4) même si en nombre de capsules produisant du coton graine (capsules entièrement et partiellement saines) ce constat ne peut être fait pour certaines densités de plantation (Tableau 4).

Tableau 4 : importance de la production des branches végétatives en fonction de la densité de plantation et de la protection phytosanitaire de la culture

	part de production (en %) issue des branches végétatives		nombre par m ² de capsules entièrement et partiellement saines issues des branches végétatives	
	expérimentation	expérimentation	expérimentation	expérimentation
	1	2	1	2
D1	18,1	14,6	7,8	7,9
D2	17,8	4,7	7,8	2,8
D3	10,6	5,9	4,2	2,4
D4	5,7	1,9	1,4	2,2

expérimentation 1 sans protection insecticide et expérimentation 2 protection insecticide maximale

L'examen des liens existant entre les taux de rétention d'organes fructifères produits au cours de semaines successives sur branches fructifères et les infestations de chenilles de la capsule⁷⁴ dans l'étude restée sans protection insecticide montre des coefficients de corrélation en majorité négatifs mais seuls quelques uns sont significatifs à 5 et/ou 10 % (Tableau 5). Ce constat n'est toutefois pas surprenant car seuls les résultats de 12 parcelles élémentaires ayant la même densité de plantation furent considérés pour les calculs de ces coefficients de corrélation. En se limitant aux coefficients de corrélation positifs et significatifs, seules les infestations de chenilles de la capsule présentes entre le 65^{ème} JAL et 79^{ème} JAL ont eu un impact sur les taux de rétention des organes fructifères. Cette période fut d'ailleurs celle des plus fortes infestations de chenilles de la capsule (Figure 14).

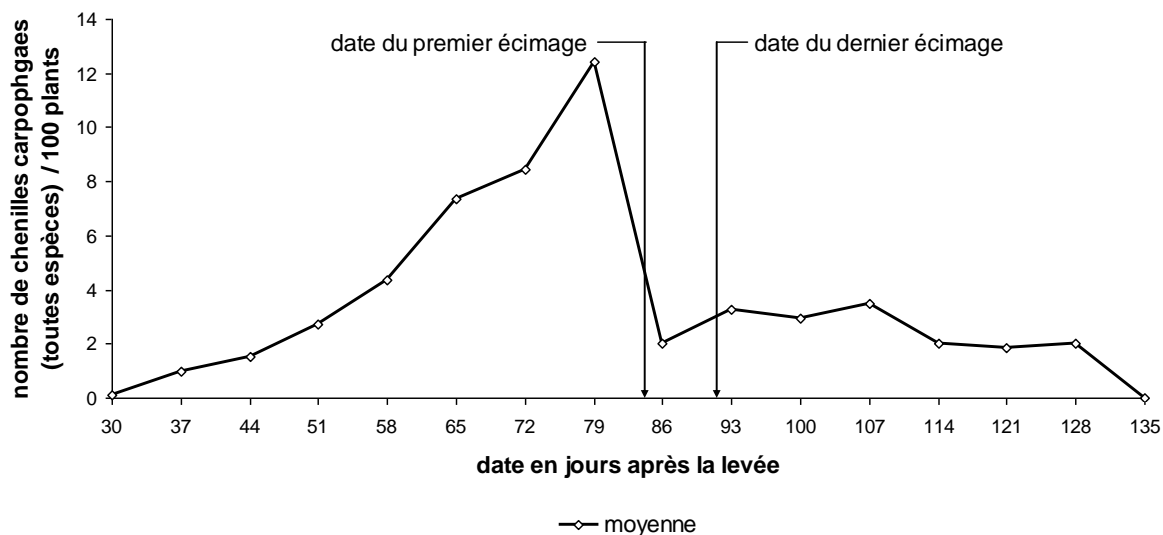


Figure 14 : évolution moyenne des infestations de chenilles de la capsule (toutes espèces confondues) au cours de la campagne

⁷⁴ Un organe fructifère n'est sensible à l'abscission que pendant 41 jours (30 jours pour la durée du développement du boutons floral jusqu'à la fleur et 11 jours de sensibilité d'une capsule à l'abscission vérifié dans l'étude 2) seules les infestations présentes pendant cette période ont été considérées pour chaque semaine de production de sites fructifères sur branches fructifères

Tableau 5 : coefficients de corrélation entre infestations de chenilles de la capsule
et taux de rétention d'organes fructifères produits au cour de semaines successives sur branches fructifères
coefficient de corrélation positif significatif à 5 %, coefficient de corrélation positif significatif à 10 %
coefficient de corrélation négatif significatif à 5 %, coefficient de corrélation négatif significatif à 10 %

	rétention des organes fructifères produits du au (en JAL)	infestations de chenilles de la capsule à différentes date (en JAL)											
		37	44	51	58	65	72	79	86	93	100	107	114
2,1 plants/m ²	du 36 au 42	-0,411	-0,144	-0,092	0,002	-0,618	-0,032	-0,186					
	du 43 au 49		0,555	0,679	0,013	-0,169	-0,588	0,441	-0,198				
	du 50 au 56			0,478	0,142	-0,582	-0,461	0,158	0,126	-0,142			
	du 57 au 63				0,644	0,552	0,454	0,241	-0,112	0,582	0,156		
	du 64 au 70					-0,092	-0,009	0,027	0,083	0,056	-0,208	-0,256	
	du 71 au 77						0,047	-0,044	-0,424	0,088	0,470	0,281	0,636
4,2 plants/m ²	du 36 au 42		0,521	0,035	0,525	0,367	-0,106	0,445					
	du 43 au 49		0,139	0,558	0,303	0,004	0,421	-0,288	-0,058				
	du 50 au 56			0,007	-0,393	-0,449	-0,271	-0,536	-0,252	-0,134			
	du 57 au 63				-0,272	-0,296	-0,366	-0,530	-0,058	0,149	-0,267		
	du 64 au 70					-0,236	0,026	-0,177	-0,214	-0,243	-0,238	0,168	
	du 71 au 77						-0,204	0,046	0,118	0,254	0,242	0,293	0,491
8,3 plants/m ²	du 36 au 42		-0,192	-0,209	0,162	0,363	-0,010	-0,007					
	du 43 au 49		-0,070	0,129	0,065	-0,027	0,198	-0,417	0,309				
	du 50 au 56			0,024	-0,309	-0,328	0,073	-0,392	0,234	-0,115			
	du 57 au 63				0,169	-0,247	-0,172	0,032	-0,004	0,300	-0,220		
	du 64 au 70					-0,178	-0,314	-0,057	0,140	-0,106	-0,215	-0,006	
	du 71 au 77						-0,101	-0,159	-0,235	0,050	0,093	0,109	-0,111
16,7 plants/m ²	du 36 au 42		-0,322		0,415	0,067	0,037	0,293					
	du 43 au 49		-0,315	-0,160	-0,303	-0,334	-0,128	-0,460	0,009				
	du 50 au 56			-0,395	-0,360	-0,227	-0,031	0,211	-0,009	0,035			
	du 57 au 63				-0,038	-0,186	-0,281	-0,180	-0,110	-0,127	-0,097		
	du 64 au 70					0,207	-0,234	0,058	-0,067	-0,281	0,515	0,519	
	du 71 au 77						0,024	-0,276	-0,298	0,068	0,279	0,588	-0,105

Cependant des coefficients de corrélation positifs et significatifs à 5 et/ou 10 % sont également observés alors que les infestations de chenilles de la capsule sont censées provoquer des chutes d'organes fructifères donc de présenter des liens négatifs avec les taux de rétention (Tableau 5). Ce constat pourrait s'expliquer par une production d'organes fructifères plus importante qui améliorerait les taux de rétention en réduisant en pourcentage l'importance des pertes dues aux chenilles de la capsule⁷⁵. Ainsi ces coefficients de corrélation significatifs et positifs pourraient traduire l'existence de phénomènes de compensation. Pour la densité de plantation de 2,1 plants/m², 54,8 % des coefficients de corrélation sont positifs et ce pourcentage tombe à 47,6 % pour la densité de plantation de 4,2 plants/m², puis à 38,1 % pour la densité de plantation de 8,3 plants/m² et enfin à 35,7 % pour la densité de plantation de 16,7 plants/m². Ce résultat confirmerait que les phénomènes de compensation des pertes infligées par les chenilles de la capsule sont d'autant plus faibles que la densité de plantation augmente. Mais en se limitant aux coefficients de corrélation positifs, significatifs à 5 % et/ou 10 % et ayant un sens (en particulier les dates des infestations doivent être compatibles avec des effets sur les productions de sites fructifères), les résultats du tableau 5 indiquent que seules les infestations de chenilles de la capsule présentes aux 44^{ième} et 58^{ième} JAL ont pu induire des phénomènes de compensation mais uniquement pour la plus faible densité de plantation.

Enfin, conséquence très probable de ces phénomènes de compensation, l'élaboration de la production de capsules entièrement saines sur branches fructifères est moins rapide en l'absence de protection insecticide qu'en présence d'une protection insecticide maximale (Figures 15 à 18). Cependant lorsque la densité de plantation augmente les écarts entre ces deux niveaux de protection de la culture cotonnière dans leur précocité d'élaboration de la production de capsules entièrement saines sur branches fructifères se réduisent (Figures 15 à 18). Cela résulte probablement de différences de pouvoir de compensation entre les densités de plantation.

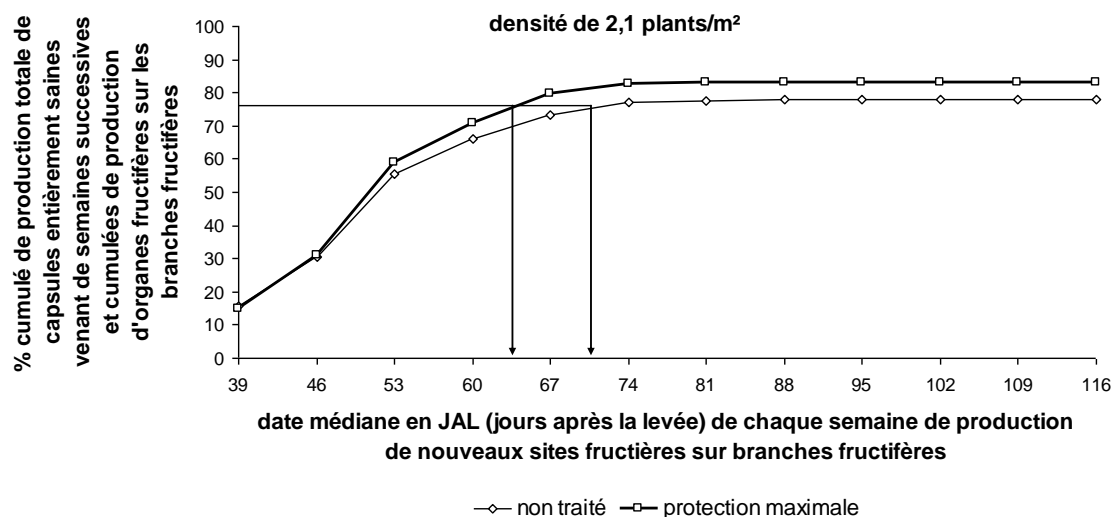


Figure 15 : Elaboration de production de capsules entièrement saines sur branches fructifères avec la densité de plantation de 2,1 plants/m² en fonction du niveau de protection de la culture

⁷⁵ L'hypothèse de taux de rétention des organes fructifères meilleurs lorsque le nombre de sites produits augmente semble vérifiée au regard des coefficients de corrélation entre taux de rétention et nombre de sites produits par semaine et par plant : 80,6 % sont positifs et 6 sur 36 significatifs à 5 ou 10 %.

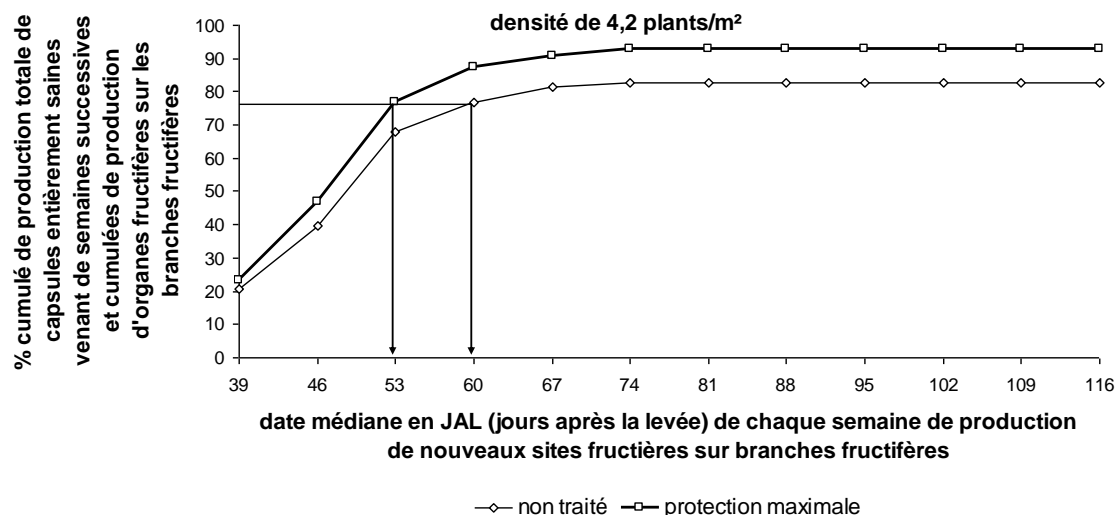


Figure 16 : Elaboration de production de capsules entièrement saines sur branches fructifères avec la densité de plantation de 4,2 plants/m² en fonction du niveau de protection de la culture

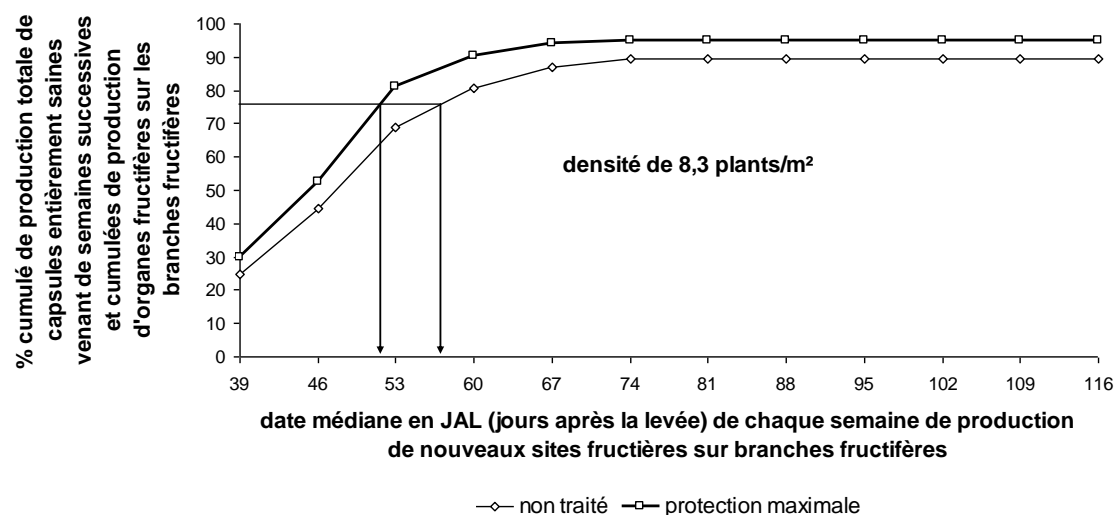


Figure 17 : Elaboration de production de capsules entièrement saines sur branches fructifères avec la densité de plantation de 8,3 plants/m² en fonction du niveau de protection de la culture

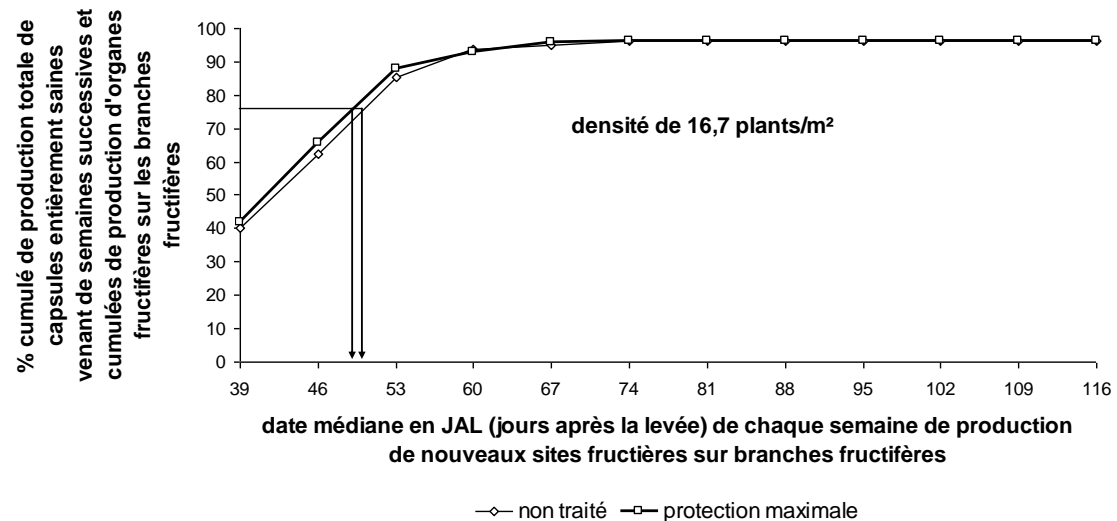


Figure 18 : Elaboration de production de capsules entièrement saines sur branches fructifères avec la densité de plantation de 16,7 plants/m² en fonction du niveau de protection de la culture

5 Conclusions et discussion

On peut évidemment reprocher à cette étude l'absence de toute indication sur la signification statistique de la plupart des résultats présentés. Toutefois en ce qui concerne les nombres de sites fructifères apparus par branche fructifère (à la base de toutes les interprétations), les tests de Student bilatéraux avec des variances inégales confirment nettement les tendances avancées : 9 tests sur 20 (nombre de branches fructifères considéré) sont significatifs à 10 % pour la densité D1 (4 étant significatifs à 5%), 13 tests sur 20 sont significatifs à 10 % pour la densité D2 (8 étant significatifs à 5%), 17 tests sur 20 sont significatifs à 10 % pour la densité D3 (13 étant significatifs à 5%) et 9 tests sur 20 sont significatifs à 10 % pour la densité D4 (6 étant significatifs à 5%).

L'absence de protection insecticide semble donc induire la production de sites fructifères supplémentaires sur les branches fructifères. Ils sont alors probablement la traduction de phénomènes de compensation de pertes infligées par les ravageurs (la seule différence entre les deux études étant le niveau de protection insecticide). A l'échelle du plant ces productions de sites supplémentaires sur les branches fructifères sont plus faibles avec la plus forte densité de plantation et comparables pour les trois autres densités étudiées. Ce résultat est en partiel désaccord avec l'affirmation que plus la densité de plantation est faible plus fort seraient les phénomènes de compensation à l'échelle du plant.

Par ailleurs à l'échelle de la parcelle (donc par unité de surface) ces productions de sites supplémentaires sur les branches fructifères sont d'autant plus faibles que la densité de plantation diminue. Ce résultat contredit une autre affirmation souvent énoncée à propos de l'absence de phénomènes de compensation lorsque les cotonniers sont semés à de très fortes densités de plantation.

De plus ces sites fructifères supplémentaires sur branches fructifères ne produisent que très peu d'organes productifs supplémentaires probablement parce qu'ils apparaissent tardivement sur les plants et que leurs taux de rétention sont en conséquence plus faibles. Contrairement à une autre affirmation ce n'est pas en diminuant la densité de plantation que l'on augmente par unité de surface les possibilités de compensation sur les branches fructifères : les meilleurs résultats ayant été obtenus avec la densité de plantation de 8,3 plants/m² avec plus de 7,2 % d'organes fructifères productifs supplémentaires sur les branches fructifères.

Il est fort probable que pour les densités de plantation inférieures à 8,3 plants/m² les phénomènes de compensation des pertes infligées par les ravageurs s'expriment plus au niveau des branches végétatives qu'au niveau des branches fructifères. Mais cette expression pourrait résulter soit d'une augmentation des organes productifs sur les branches végétatives (cas de la densité de plantation de 4,2 plants/m²) soit d'un meilleur développement des organes productifs sur ces branches végétatives sans que leur nombre en soit modifié (cas de la densité de plantation de 2,1 plants/m²). Pour la densité de plantation de 8,3 plants/m² les phénomènes productifs de compensation des pertes infligées par les ravageurs s'exprimeraient autant sur les branches végétatives que sur les branches fructifères. Enfin pour la densité de plantation de 16,7 plants/m² on peut considérer qu'il n'y a pratiquement pas de phénomènes productifs de compensation des pertes infligées par les ravageurs au niveau des branches végétatives.

Malgré cette dernière conclusion, les performances de production obtenues en l'absence de protection insecticide avec cette forte densité de plantation sont encourageantes pour la préconiser au développement dans des contextes parasitaires comparables à celui de la sous station de Farako. Toutefois les pertes d'organes productifs peuvent ne pas toujours résulter de l'action de ravageurs et il convient d'être prudent : en effet, d'autres stress (hydriques en particulier) peuvent en causer et la quasi absence de possibilités de

compensation avec cette forte densité de plantation peut en réduire l'intérêt si ces stress se produisent à des périodes décisives dans l'élaboration de la production.

L'implication des infestations de chenilles de la capsule dans l'induction de phénomènes de compensation a pu être observée mais de façon peu fréquente. En dehors de considérations statistiques liées au faible nombre de mesures pour les calculs de coefficients de corrélation, cela peut s'expliquer soit par l'intervention d'autres ravageurs qui peuvent directement (mirides fréquents dans la région de Sikasso) ou indirectement (jassides également fréquents dans la région de Sikasso)⁷⁶ provoquer des pertes d'organes fructifères soit par la prise en considération d'infestations de chenilles de la capsule sur des périodes trop courtes (une seule date d'observation) alors que plusieurs périodes d'infestations auraient pu être cumulées.

Les liaisons positives observées entre taux de rétention des organes fructifères et nombre de sites produits par semaine et par plant peut expliquer qu'il soit parfois difficile d'interpréter les résultats d'observations sur les abscissions parasitaires exprimées en pourcentage du total des abscissions.

Enfin, au regard des précocités d'élaboration de la production sur les branches fructifères il peut apparaître justifié de prolonger les programmes de protection lorsque les contrôles antérieurs des ravageurs n'ont pas été optimaux mais probablement pas dans des proportions importantes (7 jours au maximum). Cette influence de l'absence de protection sur le retard de l'élaboration de la production a probablement des conséquences sur la qualité de la fibre produite qui n'ont pas été prises en compte dans ces études.

La faiblesse de cette étude se situant principalement au niveau statistique (encore que des tests de Student permettraient de l'améliorer), il semblerait judicieux de conduire une étude mettant en jeu, avec les mêmes densités de plantation, deux (ou plusieurs) niveaux de protection insecticide de la culture en espérant que les interactions entre ces deux facteurs (densité de plantation et protection insecticide de la culture) ne nuisent pas trop à l'interprétation des résultats.

Dans une telle étude il conviendrait d'une part de valider les bases sur lesquelles ont reposées les analyses de la répartition de la production à l'échelle des plants et d'autre part d'approfondir le rôle que pourraient jouer des ravageurs autres que les chenilles de la capsule dans les phénomènes de compensation. De plus il faudrait accorder une plus grande attention aux dates d'apparition des organes fructifères produits sur les branches végétatives en particulier pour les faibles densités de plantation.

Enfin, les résultats présentés ayant été obtenus uniquement sur la sous station de Farako avec une date de semis précoce, il conviendrait certainement de les valider dans d'autres contextes (facies parasitaires, dates de semis et potentialités des cultures).

Références

- Cadou J. 1982. Niveau de protection phytosanitaire et rendement de la culture cotonnière au Mali. *Coton et Fibres Tropicales*, 37, 4, 317 – 325
- Michel B. 1999. Synthèse des activités conduites en entomologie cotonnière sur le Centre Régional de Recherche Agronomique de Sikasso (IER/Mali) de 1993 à 1999. 53pp

⁷⁶ Leurs dénombrements effectués tous les 14 jours au sein de l'étude restée sans protection insecticide n'ont pas permis d'entreprendre les mêmes analyses qu'avec les infestations de chenilles de la capsule

QUELQUES ASPECTS PHYTOSANITAIRES LIES A LA CULTURE COTONNIERE AU MALI PRINCIPAUX ACQUIS EN DEVELOPPEMENT ET EN RECHERCHE

(en liaison avec un diaporama)

1 Introduction

La filière coton est un élément majeur de l'économie malienne, en particulier pour lutter contre la pauvreté en milieu rural. Depuis quelques années, cette filière traverse une crise caractérisée au niveau national par des rendements au champ peu élevés (voire en baisse) et au niveau international par une conjoncture défavorable du fait de cours mondiaux de la fibre souvent bas et d'une parité euro/dollar défavorable, qui se répercutent sur les prix d'achat aux producteurs. Lorsqu'à ce contexte s'ajoute un renchérissement des intrants (plus particulièrement des engrais minéraux⁷⁷), la durabilité de la production cotonnière est menacée. En dehors d'un changement favorable du contexte économique mondial (cours de la fibre, parité euro/dollar et prix des intrants), la sortie de cette crise passe par une amélioration des conditions de production dans lesquelles résident les principales contraintes de la filière et les marges de progrès les plus sensibles.

Les études conduites récemment par la CMDT dans le cadre du projet WACIP⁷⁸ ont montré que si les itinéraires techniques actuellement recommandés⁷⁹ étaient respectés, plus de 33 % de gain de productivité pouvaient être obtenus dans les agrosystèmes cotonniers. Par ailleurs la recherche élabore de nouveaux itinéraires techniques qui autoriseront des gains supplémentaires de productivité et de rentabilité de manière durable en particulier du fait d'une meilleure prise en compte des contraintes environnementales.

Parmi les objectifs de ces nouveaux itinéraires techniques figure la réduction de l'usage des pesticides en culture cotonnière (pour diminuer les coûts de production, pour limiter les impacts négatifs des pesticides sur l'environnement et la santé humaine et pour améliorer l'image de marque de la fibre produite) et l'élaboration de stratégies phytosanitaires permettant des gains de productivité et de qualité de fibre, grâce auxquelles on pourra envisager une sortie de crise pour la filière cotonnière du Mali.

2 Les acquis du développement⁸⁰

Pour obtenir une production rémunératrice et de qualité, la protection de la culture cotonnière contre ses ravageurs est incontournable au Mali (Cadou, 1982). Encore aujourd'hui cette protection repose en grande partie sur la réalisation systématique d'applications insecticides. Ce programme calendaire de protection donne toujours satisfaction : il permet en particulier d'obtenir près de 90 % du potentiel de production malgré l'acquisition d'une résistance aux pyréthréinoïdes dans les populations d'*Helicoverpa armigera* Hübner (Vaissayre et al. 1998 ; Martin et al., 2000). Mais ce programme, même s'il n'est réalisé qu'en partie par les producteurs (4,5 applications insecticides au lieu des 6 recommandées) n'est certainement pas sans impact sur la santé humaine et l'environnement.

⁷⁷ + 39,1 % pour l'engrais complet et + 70,6 % pour l'urée en 2008 par rapport à 2007

⁷⁸ Communication faite à Bamako lors de la réunion organisée par le WACIP et l'IFDC les 1^{er} et 2 avril 2009

⁷⁹ Ces recommandations sont celles de la recherche à l'exception de la quantité d'engrais NPKSB que le Développement fixe à 150 kg/ha et la recherche à 200 kg/ha

⁸⁰ Communication de la CMDT à Boo Dioulasso du 12 au 15 mai 2009 « Bilan pluriannuel de la lutte étagée ciblée et du traitement sur seuil contre les ravageurs du cotonnier en zone CMDT de 1997 à 2008 »

Du fait d'une pression relativement modérée des ravageurs sur la production⁸¹ (Cadou, 1982 et Michel, 1999), deux nouvelles approches de protection moins consommatrices de pesticides ont été diffusées à la suite de recommandations de la recherche.(Michel, 2000).

La première approche, diffusée à partir de 1994 sous le nom de « Lutte Etagée Ciblée » (LEC), consiste à réaliser les interventions calendaires mais en n'utilisant que la moitié de la dose d'insecticide prescrite, l'autre moitié n'étant apportée, dans la semaine qui suit l'intervention calendaire, que si les infestations de certains ravageurs le justifient⁸². Ces dernières interventions ne devraient donc être dirigées que contre des ravageurs précis, mais, en raison des formulations insecticides disponibles (associations de matières actives ou matières actives à large spectre), ce ciblage n'est pas respecté. Par ailleurs, depuis 2001 et l'acquisition de résistances aux pyréthriinoïdes dans les populations d'*H. armigera*, cette approche, qui permettait à ses débuts d'économiser 40 à 50 % des insecticides n'autorise plus que 30 % d'économies par rapport aux pratiques paysannes actuelles. Par contre ce mode de protection demeure robuste car aucune baisse significative de performances productives ne peut lui être attribuée, quelles que soient les conditions de culture rencontrées (1 007 kg/ha vs 1 023 kg/ha avec le programme calendaire de 1997 à 2008).

La deuxième approche génératrice d'économies d'insecticides a été diffusée à partir de 2001. Elle est appelée « programme d'interventions sur seuil » (PISE) et repose sur la réalisation d'applications insecticides si et uniquement si les infestations de certains ravageurs les justifient. Pour cela les infestations des principaux ravageurs sont observées tous les 7 jours à partir du 30^{ième} jour après la levée et les niveaux d'infestations requis pour décider de la réalisation d'une application insecticide sont actuellement les mêmes que ceux employés en « Lutte Etagée Ciblée ». Les économies d'insecticides sont alors plus importantes : de 53 à 76 % d'économies par rapport aux pratiques paysannes actuelles.

Tableau 1 : évolution de la diffusion des programmes de protection

années	superficies en hectares			
	interventions calendaires	LEC	PISE	total
1994	208 333	104	0	208 437
1995	240 000	259	0	240 259
1996	327 273	2 117	0	329 390
1997	461 587	5 313	0	466 900
1998	461 230	7 351	0	468 581
1999	422 675	19 821	0	442 496
2000	195 146	16 578	0	211 724
2001	454 777	36 521	611	491 909
2002	388 548	28 980	2 515	420 043
2003	572 661	36 985	6 297	615 943
2004	485 238	39 496	8 683	533 417
2005	434 084	71 812	15 133	521 029
2006	333 443	101 796	24 026	459 265
2007	189 906	63 599	15 640	269 145
2008	112 118	52 232	14 248	178 598

⁸¹ En moyenne l'ensemble des ravageurs de la culture cotonnière au Mali provoquent 30 à 35 % de perte de production accompagnée d'une diminution de la qualité de la fibre (augmentation du taux de coton jaune). Cette incidence des ravageurs au Mali est plus faible que celle observée dans d'autres pays producteurs de coton en Afrique (Bénin, Cameroun, Tchad et Togo en particulier)

⁸² Ces interventions sont pratiquées si 5 (ou plus) chenilles de la capsule sont dénombrées sur 25 plants ou si 80 % des plants sont infestés par des pucerons ou par des aleurodes ou si 20 % des plants hébergent des infestations de *Syllepte derogarta* (Fabricius)

A ces trois approches de la protection phytosanitaire de la culture cotonnière au Mali (Tableau 1), il faut ajouter les réalisations conduites suivant un mode biologique par l'ONG Helvetas et celles relevant la Gestion Intégrée de la Production et des Déprédateurs du cotonnier (GIPD) qui ne concernent encore que des superficies modestes.

3 Les principaux acquis de la recherche

3.1 à propos des programmes d'interventions sur seuil

Sur la base de 15 études conduites de 2001 à 2008 en milieu contrôlé (sous station IER de Farako) avec la densité de plantation recommandée (8,3 plants/m²), des économies importantes d'insecticide ont été obtenues en appliquant le programme d'interventions sur seuil actuellement diffusé (91,4 % d'économies $F = 1\,396,94$ significatif à 0,0 % par rapport aux recommandations de la recherche en matière d'interventions calendaires et 88,5 % d'économies $F = 737,17$ significatif à 0,0 % par rapport aux pratiques réelles des producteurs en matière de traitements calendaires). Cette réduction de l'usage d'insecticides grâce à des interventions sur seuil et ses répercussions positives sur les coûts de protection et les risques en santé humaine et vis-à-vis de l'environnement ont souvent été mentionnées dans la littérature (Graham and Knight 1965, Palm et al. 1969, Logan 1981, Dudley et al. 1989, Mols 1990, Barclay and Li 1991, Binns and Nyrop 1992, Kogan 1995, Dent 2000, Ellsworth and Martinez-Carrillo 2001).

Cependant une perte de production significative est apparue avec le programme actuel d'interventions sur seuil (réalisation d'une intervention si 5 chenilles de la capsule sont observées en examinant 25 plants) par rapport au programme d'interventions calendaires recommandé par la recherche (sur la base de 15 études conduites de 2001 à 2008 en milieu contrôlé) : 1 400 kg/ha vs 1 327 kg/ha soit 5,2 % ($F = 7,15$ significative à 1,7 %) ⁸³. Malgré des performances économiques meilleures en termes de produit diminué des coûts de protection ⁸⁴ (261 000 F CFA/ha vs 231 000 kg/ha, $F = 21,01$ significatif à 0,0 %), il est probable qu'il faille ajuster toute nouvelle approche de protection à la diversité des situations rencontrées pour en améliorer les performances productives.

Plusieurs études ont conclu à la nécessité d'avoir une densité de plantation suffisante pour que les performances productives du programme actuel d'interventions sur seuil ne soient pas inférieures à celles du programme d'interventions calendaires. Si des règles sont en cours d'élaboration pour prendre en compte la densité de plantation dans la définition des seuils d'intervention contre les chenilles de la capsule (*H. armigera*, *Diparopsis watersi* Rotschild et *Earias* sp), les seuils de 1 et de 3 chenilles de la capsule/25 plants sont apparus plus robustes aux variations de densité de plantation que le seuil de 5 chenilles/25 plants actuellement employé. Ces deux nouveaux seuils conduisent à réaliser un plus grand nombre d'applications insecticides mais les économies d'insecticides restent encore importantes (de 60 à 75 % par rapport à un programme de 6 interventions calendaires).

Comme l'incidence d'un même niveau d'infestation d'un (ou de) ravageur(s) est plus forte en début qu'en fin de cycle du cotonnier, il n'est certainement pas souhaitable de conserver tout au long de la campagne le même niveau d'infestations pour intervenir contre des ravageurs

⁸³ La communication de la CMDT à Bobo Dioulasso (12 au 15 mai 2009) fait également état d'une économie d'insecticide de 69 % significative à 0,0 % ($F = 134,0$), d'une perte de production de 6,1 % (953 kg/ha vs 1 016 kg/ha) significative à 1,5 % ($F = 5,73$) et d'un gain en produit diminué des coûts de protection de 7,9 % significatif à 1,3 % ($F = 5,95$)

⁸⁴ 200 F CFA le prix d'achat du kilogramme de coton graine et 8 107 F CFA/ha le coût d'une intervention insecticide décomposé en 4 507 F CFA d'achat d'un litre d'insecticide, 900 F CFA le coût des piles pour une application, 150 F CFA le coût de la main d'œuvre pour la réalisation d'une application et 2 550 F CFA le coût de l'amortissement et de l'entretien de l'appareil de traitement par application

comme cela est pratiqué dans le programme actuel d'interventions sur seuil. Vis-à-vis des chenilles de la capsule, le changement en cours de campagne du niveau d'infestation requis pour réaliser une intervention insecticide (quatre périodes considérées avec un niveau d'infestation croissant du début à la fin de campagne) donne des résultats prometteurs : le nombre d'interventions insecticides n'est pas plus élevé qu'avec le programme actuel d'interventions sur seuil et les performances de production comme les produits diminués des coûts de protection sont comparables. Cette nouvelle approche est apparue d'autant plus justifiée en termes d'efficacité et de marge (produit diminué des coûts de protection) que le semis était tardif. S'il faut encore attendre la confirmation des résultats, on peut déjà proposer d'adopter le seuil de 1 chenille/25 plants du 30^{ième} au 85^{ième} JAL⁸⁵ et celui de 3 chenilles/25 plants au-delà du 85^{ième} JAL.

Dans toutes les études conduites sur des seuils d'intervention, seules les chenilles de la capsule (responsables de l'essentiel des pertes de production) ont été prises en compte, mais les formulations insecticides employées avaient un large spectre d'action. Si cette simplification a toujours donné des résultats satisfaisants sur la sous station de Farako, elle mérite d'être validée dans les différentes écologies des zones cotonnières du Mali et d'être reconsidérée si des matières actives d'action spécifique vis-à-vis des chenilles de la capsule venaient à être employées.

Les producteurs étant souvent plus sensibles à la simple présence des ravageurs qu'à leur densité au sein de la culture, une règle de décision différente de celle en vigueur dans le programme actuel d'interventions sur seuil contre les chenilles de la capsule peut leur être proposée. Elle consiste à réaliser une application insecticide dès qu'une chenille est observée en examinant au plus 9 plants. Par sa simplicité, sa rapidité d'exécution et la diminution du risque qu'elle procure, cette nouvelle règle pourrait convenir à des producteurs qui n'ont pas encore pratiqué des interventions sur seuil car même si le nombre des interventions est un peu plus élevé qu'avec le programme actuel d'intervention sur seuil les économies d'insecticides restent importantes (78 % d'économies par rapport à 6 applications calendaires et 71 % d'économies par rapport aux pratiques des producteurs en matière d'interventions calendaires).

3.2 à propos de l'écimage des cotonniers

Les études concernant cette pratique ont été initiées en 2002 à la suite d'examens de la production à l'échelle de plants de cotonniers montrant la grande importance des premières positions fructifères apparues dans la production d'une parcelle. La date de réalisation de cette pratique ne doit pas être trop précoce sous peine d'être pénalisante en production : en effet, si les cotonniers n'ont pas encore formé 15 branches fructifères, des pertes significatives de production apparaissent. L'observation de la formation des branches fructifères apparaissant compliquée à mettre en œuvre en milieu producteur, une règle de décision plus simple, reposant sur la date d'apparition de la première fleur a été élaborée : elle fixe alors à 10 jours après cette date la réalisation de l'écimage.

Le résultat le plus constant obtenu après écimage des cotonniers est celui d'une réduction significative des infestations de chenilles de la capsule. Cet effet de l'écimage des cotonniers a déjà été mentionné dans la littérature sur certains ravageurs (Nasr and Azab, 1969; Naguib and Nasr-Kattab, 1978; Ekukole, 1992 ; Deguine *et al*, 2000 et Sundaramurthy, 2002). Les études conduites au Mali l'ont montré vis-à-vis de *D. watersi* (Rothschild) et confirmé pour *H. armigera* et *Earias* sp. Cet effet de l'écimage sur les infestations de chenilles de la capsule a deux conséquences importantes : il soustrait une fraction de la population de ces ravageurs à la pression de sélection insecticide de fin de campagne (meilleure gestion de la résistance aux insecticides grâce à une dilution des gènes de résistance) et il autorise une réduction du

⁸⁵ Jour Après la Levée

nombre d'interventions sur seuil en fin de campagne (en 2007 0,5 intervention/ha en moyenne contre 1,1 intervention/ha en l'absence d'écimage, résultat significatif à 5 %).

En considérant les productions moyennes obtenues dans nos essais de 2002 à 2008, une différence significative apparaît en faveur de l'écimage (1 742 kg/ha contre 1 654 kg/ha), alors que l'absence d'effet significatif de l'écimage sur la production de coton graine a souvent été mentionnée dans la littérature (Kittock and Fry, 1977; Sawaji *et al.*, 1994; Brown *et al.*, 2002 and Siddique *et al.*, 2002). Toutefois certains auteurs ont montré des augmentations de rendement à la suite d'un écimage des cotonniers (Ahmed *et al.*, 1989 ; Rahman *et al.*, 1991 and Abd-El-Malik and El-Shahawy, 1999). Elles sont souvent associées à des pratiques culturales comme la densité de plantation (Ma Fu Yu *et al.*, 2004 and Obasi and Msaakpa, 2005), la date de réalisation de cet écimage (Damodaran *et al.*, 1974 and El-Hanafi *et al.*, 1982) et le choix variétal (Dhamalingam *et al.*, 1974).

Au Mali, le taux de rétention des organes fructifères situés en première position des 10 premières branches fructifères (dont la rétention et le développement peuvent être favorisés par l'écimage) pourrait expliquer les variations de performances productives de l'écimage. Le ratio des productions de capsules entièrement saines entre cotonniers écimés et cotonniers non écimés est en effet favorable à l'écimage (plus de 73 % des cas) lorsque ce taux de rétention dépasse 64 %. Une bonne protection des premiers organes fructifères apparus est donc essentielle. Les potentialités de la culture influencent également les performances d'un écimage : plus elles sont faibles (< 1 200 kg/ha) moins l'écimage est performant.

Les producteurs ont jugé simple la règle de mise en œuvre pour l'écimage des cotonniers (pourtant basée sur le suivi de la formation des branches fructifères), facile la technique d'écimage manuel et peu fastidieuse sa réalisation. Toutefois l'écimage d'une parcelle d'un hectare par une personne exige 3,5 journées de travail de 5 heures pour 50 % des producteurs et 6,5 journées de travail de 5 heures pour 90 % d'entre eux. Pour que l'écimage soit rentable il doit donc permettre d'économiser entre 0,3 et 0,6 application insecticide par hectare ou procurer un gain de 13 à 25 kg/ha de coton graine (objectifs réalistes au regard des résultats obtenus)⁷.

3.3 à propos des augmentations de densité de plantation

En conditions non biologiques de conduite de la culture, l'augmentation du rendement est l'effet le plus manifeste de l'augmentation de la densité de plantation. Il est très souvent hautement significatif (quelle que soit la gamme de densité étudiée). Les deux densités les plus fréquemment comparées, 8,3 plants/m² (densité recommandée) et 16,7 plants/m², procurent respectivement 1 150 kg/ha et 1 710 kg/ha de coton-graine (différence hautement significative à 0,1 % F = 23,23 sur la moyenne de 10 études de 2001 à 2008). Avec des cultures conduites suivant un mode biologique les conclusions sont moins affirmées même si plus de 180 kg/ha d'écart sont observés entre ces deux densités : 510 kg/ha vs 690 kg/ha (F= 3,07 significatif à 11,5 % moyenne de 9 études).

L'augmentation de la densité de plantation est donc le facteur le plus important pour augmenter à faible coût⁸⁶ la productivité des cultures cotonnières au Mali, même si les caractéristiques de la fructification du cotonnier lui sont en général défavorables, qu'il s'agisse du nombre de branches fructifères et de branches végétatives/cotonnier, de la production de sites par branche fructifère et par cotonnier, du taux de rétention des premiers organes fructifères, de la production de capsules/cotonnier, des poids moyens capsulaires et de la production de coton-graine/cotonnier. Mais ces effets négatifs à l'échelle du plant de cotonnier sont largement compensés par la multiplication du nombre de cotonniers par unité de surface.

⁸⁶ Tant que le prix des semences restera abordable pour les producteurs

Ces résultats sont conformes à ceux de la littérature en ce qui concerne les augmentations de rendement (Andries et al., 1971; Bridge et al., 1975 ; Buxton et al., 1977; Kirk et al. 1981 et Siddig, 1998) mais également en ce qui concerne les caractéristiques de la fructification à l'échelle du cotonnier (Anastassiou and Sotiriadis, 1984). Nos résultats confirment également ceux de Niles (1970), Ray (1970), Gutstein (1973), Heitholt et al (1992), Fernandez (1998) et Siddig (1998) à propos de l'intérêt des feuilles laciniées lorsque les augmentations de densités sont très fortes (25,0 plants/m²).

Toujours en comparant les deux densités de plantation les plus étudiées (8,33 plants/m² et 16,67 plants/m²), des corrélations positives apparaissent parfois avec les pourcentages de plants infestés par certains insectes piqueurs suceurs : aleurodes, jassides et pucerons. Mais ces effets sont beaucoup trop faibles pour se traduire par une incidence sensible sur le développement végétatif et fructifère du cotonnier. Aucune différence significative n'est apparue entre ces deux densités de plantation dans les infestations en chenilles de la capsule par cotonnier. Par contre le taux de plants infestés par ces ravageurs diminue avec la plus forte densité de plantation en fin de campagne. Cet effet ajouté à celui de la multiplication du nombre de plants par unité de surface permettrait d'expliquer les meilleures performances productives du programme actuel d'interventions sur seuil lorsque la densité de plantation augmente.

Mais, le principal intérêt phytosanitaire des augmentations de densité de plantation réside dans une élaboration plus précoce de la production qui peut ainsi échapper aux fortes infestations de chenilles de la capsule en fin de campagne. Cet effet a été noté dans toutes les études en utilisant des critères parfois différents. Pour l'illustrer simplement dans une étude conduite en 2005, en considérant le nombre par m² de capsules entièrement saines au 112^{ème} JAL comme le nombre par m² définitif de capsules entièrement saines, celui-ci était atteint dès le 92^{ème} JAL avec la densité de 16,7 plants/m², pratiquement atteint au 102^{ème} jour après la levée avec la densité de plantation de 8,3 plants/m² et non encore atteint au 112^{ème} jour après la levée avec les deux plus faibles densités (4,2 et 2,1 plants/m²).

3.4 à propos des plantes pièges

Les céréales traditionnellement cultivées dans l'assolement ne sont pas révélées très intéressantes comme cultures-pièges du fait d'une attractivité trop faible vis-à-vis des principaux ravageurs du cotonnier mais également parce qu'elles ont parfois eu un effet dépressif sur le développement des cotonniers voisins (cas du sorgho). L'emploi du tournesol fut aussi décevant que celui du sorgho : faible pouvoir attractif et effet dépressif sur le développement des cotonniers voisins. D'autres plantes-pièges (le gombo, le pois d'angole et le rosier d'Inde), qui n'exercent pas d'effet dépressif sur le développement des cotonniers voisins, sont apparues plus attractives vis-à-vis des chenilles de la capsule mais cet effet est resté insuffisant pour réduire les pertes de production dues à ces ravageurs sur les cotonniers qui leur sont associés. Il faut donc probablement adjoindre à l'utilisation de ces plantes-pièges d'autres pratiques, comme la destruction des ravageurs réfugiés sur ces plantes-pièges, pour en accroître l'intérêt.

Dans l'association du cotonnier à une plante-piège il faut tenir compte de l'éventuel effet dépressif de cette plante-piège sur le développement des cotonniers voisins, d'une bonne coïncidence entre les stades attractifs du cotonnier et de cette plante-piège vis-à-vis des ravageurs principaux (période et durée), de la forme de l'association (disposition spatiale) et surtout de l'intérêt économique de cette plante-piège.

Enfin, si la gamme de plantes-pièges de ravageurs du cotonnier est encore vaste, les plantes permettant la multiplication d'entomophages non spécifiques pour limiter les

infestations de certains ravageurs sur cotonniers ont été peu étudiées jusqu'à présent dans les conditions africaines.

4 Conclusions et discussion

Sur la base des résultats en Développement, le programme actuel d'interventions sur seuil pourrait être inséré dans les propositions d'actions des services qui seront en charge du conseil à l'exploitation familiale. Par ailleurs, pour faciliter ces actions des simplifications des règles actuelles de décision peuvent être proposées.

Toutefois compte tenu de ses performances en production plus faibles que celles du programme d'interventions calendaires, des recherches doivent encore être conduites pour les améliorer.

Certains résultats de la recherche permettraient d'y répondre rapidement mais ils méritent encore d'être validés en milieu producteur. D'autres pourraient à très court terme améliorer l'efficacité et la rentabilité du programme actuel d'interventions sur seuil tout en préservant ses avantages en termes de protection de l'environnement et de diminution des risques en santé humaine.

Associées à d'autres innovations techniques, ces améliorations de la protection phytosanitaire du cotonnier au Mali contribueront à la sortie de crise que traverse la filière cotonnière au Mali.

5 Références bibliographiques

Abd-El-Malik, R. R., El-Shahaw M. I. M. 1999. Effect of hill spacing and removal of terminal bud (topping), terminal square of sympodia (pruning) or both at different plant height of Giza 89 cotton cultivar. *Egyptian Journal of Agricultural Research*. 77; 4: 1725-1740

Ahmed, F. M., M. H. Abdel-Al, Ismail M. S. 1989. Effect of topping and cycocel application time on the productivity of cotton (*Gossypium barbadense*). *Assiut Journal of Agricultural Sciences*. 20; 2: 313 – 325

Anastassiou L. S., Sotiriadis S.E. 1984. Effect of plant population and spacing on cotton. I. Plant characters/density relationship and production stability. *Coton et Fibres Tropicales*, 39, 2, 15 - 24

Andries J.A., Douglas A.G., Albritton R.C. 1971 Performance of normal, okra and superokra leaf types in three row widths. *In* J.M. Brown (ed.) *Proceedings Beltwide Cotton Production Research Conference*, Atlanta, G.A. 11 –12 January, Natl. Cotton Council of America, Memphis, TN

Barclay H.J.A., Li C. 1991. Combining methods of pest control minimizing cost during control programm. *Theor. Popul. Biol.* 40: 105-123

Binns M. R. A., and Nyrop J.P. 1992. Spatial dispersion and sequential sampling plan for tarnished plant bug (Hemipterae Miridae) on celery. *Journal of Economic Entomology* 84: 158-164

Bridge R.R, Chism J.F., Tupper G.R. 1975. The influence of row spacing on cotton variety performance. *Miss. Agric. For. Exp. Stn. Bul.* 816

Brown R.S., Oosterhuis D.M., Bourland F.M., Coker D.L. 2002. Removal of cotton fruit by chemical and physical means at insecticide termination to improve yield. Vol 1 pp 544-546, in

C. P. Dugger & D. A. Richter (eds.) Proceedings of the Cotton Beltwide Conference. Jan. 9-13, 2001. Anaheim, CA. National Cotton Council, Memphis TN, USA

Buxton D.R., Briggs R.E., Patterson L.S., Watkins S.D. 1977. Canopy characteristics of narrow row cotton as influenced by plant density. *Agronomy Journal* 69, 929 – 933

Cadou J. 1982. Niveau de protection phytosanitaire et rendement de la culture cotonnière au Mali. *Coton et Fibres Tropicales*, 37, 4, 317 – 325

Deguine, J. P., Goze E., Leclant F. 2000. The consequences of late outbreaks of the aphid *Aphis gossypii* in cotton growing in central Africa: towards a possible method for the prevention of cotton stickiness. *International Journal of Pest Management*. 46; 2: 85-89

Damodaran, A., Kamalanathan S., Chamy A., Aaron D. S., Ramakrishnan P. K. 1974. Influence of topping on the characters of American cotton (*G. hirsutum*). *Madras Agricultural Journal*. 61; 9: 855 – 857

Dharmalingam, V., Krishnadoss D., Robinson L., Iyemperumal S. 1974. Effect of topping rainfed cotton. *Madras Agricultural Journal*. 61; 9: 858 – 860

Dent D. 2000. Insect pest management. CAB International London, United Kingdom.

Dudley N. J. A., Mueller R.A.E., and Wightman J.A. 1989. Application of dynamic programming for guiding IPM on groundnut leafminer in India. *Crop Protection*. 8 : 349-357

Ekukole, G. 1992. Preliminary results on the effect of pruning cotton plants on *Aphis gossypii* Glover populations in Maroua, North Cameroon. *Coton et Fibres Tropicales*. 47; 2: 135 – 138

El-Hanafi, H. R., Abd-El-Dayem M. A., El-Okkia A. F. H. 1982. Influence of topping on cotton yield and other characteristics. *Agricultural Research Review*. 60; 9: 153 – 163

Ellsworth P.C., and Martinez-Carrillo J.L. 2001. IPM for *Bemisia tabaci* : a case study from North America. *Crop Protection* 20 : 853-869

Fernandez C.J. 1998 Performance of two stripper cotton cultivars planted three ultra narrow row spacings. Proceedings of the World Cotton Conference 2, Athens, Greece, September 6 – 12, 408 - 409

Graham S.A., and Knight F.B. 1965. Principles of forest entomology. McGraw-Hill, New York

Gutstein Y. 1973. The type of relationship between plant density and reproductive yield of cotton in a subtropical environment. *Plantarium et Materiae Vegetabiles*, 22, 149 - 169

Heitholt J.J., Pettigrew W.T., Meredith W.R. Jr. 1992 Light interception and lint yield of narrow-row cotton. *Crop Science* 32, 728 - 733

Kirk I.W., Carter L.M., Bragg C.K., Curley R.G., McCutcheon O.D. 1981 Production and processing performance of a narrow row stripped cotton in the irrigated west. USDA-SEA, marketing research report 1118, Science and Education Administration, DC

Kittock, D.L., Fry K.E. 1977. Effects of topping Pima cotton on fruit yield and bollretention. *Agronomy Journal*. 69: 65-67

Kogan M. 1995. Areawide management of major pests : is the concept applicable to Bemisia complex ? pp. 643-657. *In* D. Gerling and R.T. Mayer (eds.), Bemisia 1995 : taxonomy, biology, damage control and management. Intercept Ltd., Andover, United Kingdom.

Logan P.A. 1981. Estimating and projection Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* density and potato yield loss. pp. 105-118. *In* J.H.Lashomb and R. Casagrande (eds), Advance in potato pest management. Proceedings of Conference, 23-25 January 1980, New Brunswick. NJ. Ross Publishing Co., Stroudsburg, PA

Ma, FuYu, Cheng, HaiTao, Li, ShaoKun, Zhang, Hong, Yang, JianRong, Zheng, Zhong, Li and LuHua. 2004. A study on the fitness of cotton on canopy regulated by topping under high yield condition. *Scientia Agricultura Sinica* 37; 12 : 1843-1848

Martin T., Ochou G.O, Hala N.F., Vassal J.M., Vaissayre M. 2000. Pyrethroid resistance in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner), in West Africa. *Pest Management Science* 56, 549-554

Michel B. 1999. Synthèse des activités conduites en entomologie cotonnière sur le Centre Régional de Recherche Agronomique de Sikasso (IER/Mali) de 1993 à 1999. 53pp

Michel B., Togola M., Tereta I and Traore N. 2000. Lutte contre les ravageurs du cotonnier au Mali : problématique et évolution récente. *Cahiers Agricultures*, 2000,9,2, 109 – 115.

Mols P.J.M.A. 1990. Forecasting orchard pests for adequate timing of control measures. pp : 75-81. *In* M.J. Sommeijer and J. Van Der Blom (eds.), Proceedings of the Section of Experimental and Applied Entomology Netherlands Entomological Society Meeting vol. 1. 15 December 15 1989. Utrecht, The Netherlands. Nederlandse Entomologische Vereniging, Amsterdam, The Netherlands

Naguib, M., Nasr-Kattab A. 1978. Effect of cutting the terminal shoots (topping) of cotton plants on the population density of egg-masses of the cotton leafworm, *Spodoptera littoralis* (Boisd.) and on the cotton yield. *Agricultural Research Review*. 56; 1: 9 – 15

Nasr, E. A., Azab A. K.. 1969. Effect of cutting the terminal shoots of cotton plants (topping) on rate of bollworm infestation, cotton yield and fibre quality. *Bulletin de la Societe Entomologique d' Egypte*; 53: 325 – 337

Niles G.A. 1970 Development of plant types with special adaptation in narrow row culture. *In* Proceedings of Beltwide Cotton Production and Research Conference, J.M Brown (Ed.) Natl. Cotton Council, Memphis TN., 63

Obasi, M. O., Msaakpa T. S. 2005 Influence of topping, side branch pruning and hill spacing on growth and development of cotton (*Gossypium barbadense* L.) in the southern guinea savanna location of Nigeria. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*. 106; 2: 155-165

Palm C.E., Dykstra W. W., Fergusson G. R., Hansberry R., Hayes W. J., Hazleton L. W. Horsfall J. G., Knipling E. F., Leach L. D., Lovvorn R. L. et al. 1969. Insect pest management and control. Publ. 1965. National Academy of Science, Washington DC

Rahman, M., Anwar M., Karim Maniruzzaman, A. F. M., Roy, N. C. 1991. Effect of topping of cotton sown different dates. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*. 26; 1-4: 149 – 157

Ray L.L. 1970. Breeding cotton varieties for narrow row production. *In* Proceedings of Beltwide Cotton Production and Research Conference, J.M Brown (Ed.) Natl. Cotton Council, Memphis TN., 57

Sawaji, B. V., Khan I. A., Lanjewar B. K..1994. Effect of topping with different levels of nitrogen and phosphorus on the growth and yield of cotton (variety AK-8401). PKV Research Journal. 18; 1: 102-103

Siddig K.El 1998 Sudac K, a cultivar for narrow row cultivation in the Sudan Gezira. Proceedings of the World Cotton Conference 2, Athens, Greece, September 6 – 12, 368 – 372

Siddique, M. R. B., Prasad M., Gautam R. C. 2002. Response of cotton (*Gossypium hirsutum*) to mepiquat chloride and topping under varying levels of nitrogen. Indian Journal of Agronomy. 47; 4: 550-555

Sundaramurthy, V. T. 2002. The integrated insect management system and its effects on the environment and productivity of cotton. Outlook on Agriculture. 31; 2: 95-105

Vaissayre, M. ; Martin, T., Vassal J.M. 1998. Pyrethroid resistance in Bollworm *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in West Africa. Proceedings of the World Cotton Research Conference-2. Athens, Greece, September 6-12, 1998. pp.701-705Georghiou 88